

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
“ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ”

ИНФОРМАЦИОННЫЙ СБОРНИК

№ 38

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

2011

УДК 551.509:551.509.314: 551.509.535

Информационный сборник № 38. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов / под редакцией канд. геогр. наук Г.К. Веселовой. – М., Обнинск: ИГ–СОЦИН, 2011.

Представлены результаты совместных испытаний метеорологического прогноза температуры воздуха и осадков на основе моделей общей циркуляции атмосферы ГУ «Гидрометцентр России» и ГУ «ГГО» по согласованной программе; на основе сравнительной оценки успешности прогнозов элементов погоды ряда отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба в период с 1 мая по 30 сентября 2010 г, выполненной в ГУ «Гидрометцентр России», показано некоторое преимущество экспериментальных мезомасштабных моделей атмосферы в успешности прогнозов приземной температуры и осадков относительно отечественных глобальных моделей атмосферы; описаны комплексный метод прогноза перемещения и интенсивности тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана с заблаговременностью до 72 ч и успешность прогнозов на его основе; приведены результаты сравнительной оценки успешности прогнозов осадков заблаговременностью до 5 суток в Приморском крае и в Забайкалье на основе методов, разработанных в ГУ «ДВНИГМИ» (автор – Е.М. Вербицкая) и в ГУ «Гидрометцентр России» (технология РЭП); изложены основы метода долгосрочного прогноза сроков устойчивого ледообразования в северо-восточной части Карского моря и метода прогноза сроков окончательного разрушения припая в Восточно-Сибирском море заблаговременностью до одного месяца, разработанных в ГУ «АНИИ» и рекомендованных к внедрению ЦМКП Росгидромета в качестве основных; представлены метод и технология краткосрочного прогноза штормовых нагонов и возникающих во время них опасных гидрологических явлений в устьевой области Амура и в Сахалинском заливе; описаны методы оценки условий формирования урожая и прогноза средней урожайности яровой пшеницы по территории Томской, Новосибирской, Кемеровской областей и Алтайского края и результаты их оперативных испытаний.

УДК 551.509:551.509.314: 551.509.535

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Д.Б. Киктёв, М.А. Толстых, Р.Б. Зарипов, М.Ю. Зайченко, А.В. Муравьёв, Е.Н. Круглова, И.А. Куликова, В.П. Мелешико, В.М. Мирвис, В.А. Матюгин, Т.Ю. Львова.</i> Совместные испытания технологий глобального сезонного прогноза на основе моделей Гидрометцентра России и ГГО.....	4
<i>А.Н. Багров.</i> Сравнительная оценка успешности прогнозов элементов погоды ряда отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба (в период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.).....	4
<u>В.П. Тунеголовец</u> , <i>М.В. Сиротенко.</i> Результаты испытания комплексного метода прогноза перемещения и интенсивности тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана с заблаговременностью до 72 ч (ДВНИГМИ, автор – В.П. Тунеголовец).....	28
<i>М.В. Сиротенко, Т.В. Цурикова.</i> О результатах сравнительной оценки успешности прогнозов осадков заблаговременностью до 5 суток в Приморском крае на основе методов, разработанных в ГУ «ДВНИГМИ» (автор – Е.М. Вербицкая) и в ГУ «Гидрометцентр России» (технология РЭП).....	42
<i>В.И. Поломарь, М.М. Хамуева, Е.М. Вербицкая.</i> О результатах опытного использования метода прогноза полусуточных сумм осадков на срок до пяти суток в пунктах на территории Забайкалья (автор – Е.М. Вербицкая)	49
<i>А.Г. Егоров.</i> Долгосрочный прогноз сроков устойчивого ледообразования в северо-восточной части Карского моря.....	56
<i>И.Д. Карелин, В.П. Карклин, А.В. Юлин.</i> Метод прогноза сроков окончательного разрушения припая в Восточно-Сибирском море заблаговременностью до одного месяца.....	79
<i>Н.Ф. Ефремова, А.А. Сафронова, С.В. Агеева.</i> Метод и технология краткосрочного прогноза штормовых нагонов и возникающих во время них опасных гидрологических явлений в устьевой области Амура и в Сахалинском заливе (ГУ «ДВНИГМИ», авторы – Ю.В. Любицкий, Е.М. Вербицкая); результаты испытания метода.....	94
<i>В.В. Набока, И.Г. Ковригина.</i> Методы оценки условий формирования урожая и прогноза средней урожайности яровой пшеницы по территории Томской, Новосибирской, Кемеровской областей и Алтайского края и результаты их оперативных испытаний.....	104

*Д.Б. Киктёв¹, М.А. Толстых¹, Р.Б. Зарипов¹, М.Ю. Зайченко¹, А.В. Муравьев¹,
Е.Н. Круглова¹, И.А. Куликова¹,
В.П. Мелешко², В.М. Мирвис², В.А. Матюгин², Т.Ю. Львова²*

СОВМЕСТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ГЛОБАЛЬНОГО СЕЗОННОГО ПРОГНОЗА НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ГИДРОМЕТЦЕНТРА РОССИИ И ГГО

Представлены результаты двухлетних совместных испытаний технологий глобального метеорологического прогноза на срок до сезона на основе моделей общей циркуляции атмосферы Гидрометцентра России и ГГО. Отмечается относительно более высокая успешность прогнозов в тропиках. Успешность прогнозов аномалий приземной температуры воздуха во внетропических широтах и в среднем по территории России лишь немного выше успешности климатического прогноза, что в основном обеспечивается относительно успешным прогнозом на первый месяц. Успешность сезонных прогнозов осадков остается низкой.

Введение

В течение нескольких лет в ГУ «Гидрометцентр России» (ГМЦ) и ГУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» (ГГО) развивались технологии глобального ансамблевого прогноза на срок до сезона [1, 3–6]. В качестве основы этих технологий в ГМЦ использовались модели атмосферы ПЛАВ [8] и T41L15 [2, 5, 6], а в ГГО – модель T42L14 [9].

В 2007–2008 гг. были проведены совместные оперативные испытания технологий глобального сезонного метеорологического прогноза температуры и осадков на основе указанных моделей общей циркуляции атмосферы ГМЦ и ГГО по согласованной программе. Результаты испытаний были рассмотрены на заседании Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета (ЦМКП) 27 октября 2009 года. Ниже рассматриваются условия, основные результаты и итоги этих испытаний.

Условия проведения испытаний

По условиям испытаний прогнозы рассчитывались в оперативном режиме ежемесячно на три последующих месяца с заблаговременностью (промежуток времени от момента старта

¹ Гидрометцентр России

² Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова

модели до начала первого календарного месяца прогноза) 3–5 суток и предоставлялись для обмена до наступления периода прогноза. Общий объем испытательной выборки составил 24 прогноза.

Граничные условия по температуре поверхности океана (ТПО) задавались исходя из последних данных анализа средних за неделю фактических значений ТПО [13], доступных на сайте <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP/.EMC/.CMB/.GLOBAL> к моменту составления прогноза. Распределение начальных аномалий ТПО принималось постоянным в течение всего периода прогноза.

В качестве начальных данных использовались результаты оперативного объективного анализа метеорологических полей, выполняемого в ГМЦ. Ансамбли прогнозов рассчитывались от слабо возмущенных начальных полей. Возмущенные начальные поля для моделей ПЛАВ и T42L14 строились с использованием метода выращивания возмущений [7, 14] и включали, соответственно, девять и семь прогностических реализаций. Ансамбли прогнозов по модели T41L15 рассчитывались с использованием начальных полей за шесть последовательных сроков наблюдений.

Состав оцениваемых прогнозируемых метеорологических величин включал средние месячные и сезонные аномалии геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа (H500), атмосферного давления на уровне моря (SLP), температуры воздуха на уровне 850 гПа (T850) и у Земли (T2м), атмосферных осадков (PREC), а также их прогностические вероятности для трех градаций («норма», «выше/ниже нормы»).

Прогностические аномалии определялись как отклонения ожидаемых средних месячных/сезонных значений метеорологических параметров от соответствующих средних многолетних значений («модельного климата»), полученных по результатам ретроспективных прогнозов. Прогностические вероятности рассчитывались исходя из частот попадания членов прогностического ансамбля в градации, ограниченные терцилями модельного климатического вероятностного распределения для соответствующего месяца или сезона года.

Выбор периода для расчета модельного климата (средних, стандартных отклонений, границ терцилей вероятностного распределения) условиями испытаний не регламентировался. В ГМЦ параметры модельного климатического распределения оценивались за период с 1979 по 2003 г., а в ГГО – с 1982 по 2004 г. Ряды ретроспективных прогнозов ГМЦ были рассчитаны по данным Реанализа-II (NCEP/NCAR) [12], ГГО – по данным Реанализа-I (NCEP/NCAR) [11]. Заблаговременность ретроспективных прогнозов примерно соответствовала заблаговременности оцениваемых реальных прогнозов.

По условиям испытаний какая-либо статистическая коррекция результатов

моделирования, помимо простого вычитания модельного климата, для расчета прогностических аномалий не использовалась.

Программа испытаний предусматривала сравнение прогностических переменных с фактическими (эталонными) данными в узлах сетки с шагом $2,5^\circ$ по широте и долготе для трех регионов: тропики (20° с.ш.– 20° ю.ш.), северные экстра-тропики ($\geq 20^\circ$ с.ш.), территория России (30 – 180° в.д., 50 – 70° с.ш.).

Для оценки успешности прогнозов аномалий рассчитывались: средняя квадратическая ошибка (RMSE), коэффициент корреляции аномалий (AC), показатель MSSS (мастерство прогноза по сравнению с климатом), а также оправдываемость прогнозов знака аномалий (ρ).

Вероятностные прогнозы по трем градациям («норма», «выше/ниже нормы») оценивались с помощью критерия ROC (Relative Operating Characteristics), включенного в состав Стандартизированной системы проверки долгосрочных прогнозов (<http://meteoinfo.ru/gdpfs-manual>) [15].

Параметры эталонного климата, использованного для расчетов фактических аномалий H500, SLP, T850 и T2м оценивались за период с 1979 по 2003 г. по данным Реанализа-II (NCEP/NCAR) [12]. Эталонный климат для осадков оценивался за период с 1979 по 2004 г. по данным архива CAMS_OPI (NCEP CPC) [10].

Оценки успешности прогнозов были рассчитаны независимо в ГГО и в ГМЦ и впоследствии согласованы.

Результаты испытаний

Результаты оперативных испытаний показали:

– по критерию RMSE в северных экстра-тропиках различия в успешности прогнозов на основе модели ПЛАВ и T42L14 были в целом невелики (табл. 1). При этом для прогнозов SLP и PREC во все периоды лучшими были показатели успешности прогнозов модели T42L14. Для T850 и T2м меньшие величины RMSE на территории России имели сезонные прогнозы по модели ПЛАВ. В тропиках прогнозы по модели T42L14 показали наименьшие значения RMSE по всем переменным. Ошибки прогнозов модели T41L15 для всех регионов и периодов существенно превышали ошибки по двум другим моделям. В связи с этим основное внимание уделено анализу результатов прогнозов по моделям ПЛАВ и T42L14;

Оценки RMSE (°C) прогнозов температуры на уровне 2 м в 2007–2008 гг.

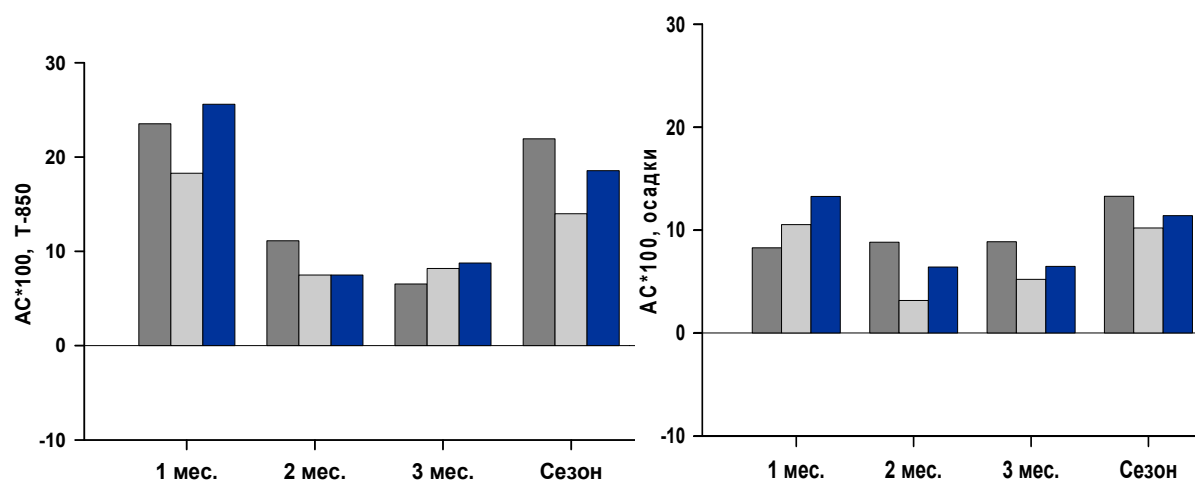
		Сев. полушарие (20–90°с.ш.)	Тропики (20°ю.ш.–20°с.ш.)	Россия (30–180°в.д., 50–70°с.ш.)
1-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	1,79	0,64	2,45
	ГГО	1,74	0,56	2,49
	ГМЦ+ГГО	1,67	0,57	2,35
2-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	1,86	0,67	2,43
	ГГО	1,85	0,65	2,56
	ГМЦ+ГГО	1,80	0,63	2,42
3-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	1,84	0,72	2,40
	ГГО	1,83	0,70	2,53
	ГМЦ+ГГО	1,79	0,68	2,40
Сезон	ГМЦ (ПЛАВ)	1,31	0,57	1,53
	ГГО	1,32	0,53	1,71
	ГМЦ+ГГО	1,27	0,53	1,55

– по критерию MSSS в северных экстратропиках и на территории России методические прогнозы T850 и T2м на месяц и сезон имели преимущество перед климатическими прогнозами (табл. 2). В тропиках прогнозы ГУ «ГГО» были успешнее климатических по всем переменным за исключением осадков. Для 2-го и 3-го месяцев ошибки методических прогнозов, как правило, были не меньше ошибок климатических прогнозов;

Таблица 2

Оценки MSSS прогнозов температуры на уровне 2 м в 2007–2008 гг.

		Сев. полушарие (20–90°с.ш.)	Тропики (20°ю.ш.–20°с.ш.)	Россия (30–180°в.д., 50–70°с.ш.)
1-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,10	0,10	0,20
	ГГО	0,15	0,33	0,18
	ГМЦ+ГГО	0,21	0,28	0,26
Сезон	ГМЦ (ПЛАВ)	0,12	0,06	0,29
	ГГО	0,10	0,23	0,13
	ГМЦ+ГГО	0,17	0,21	0,28



Сравнительные оценки АС прогнозов T850 и осадков по региону

северные экстратропики (20–90° с.ш.) на срок до сезона.

■ – ГМЦ (ПЛАВ); ■ – ГМЦ (T41L15); ■ – ГГО (T42L14)

– в первый месяц по критерию АС в большинстве случаев наивысшие показатели успешности продемонстрировали прогнозы ГУ «ГГО». Для сезона в целом на территории России более успешными были прогнозы температуры (Т850, Т2м) по модели ПЛАВ (рисунок, табл. 3);

– по критерию ρ относительное преимущество моделей ГУ «Гидрометцентр России» и ГУ «ГГО» менялось в зависимости от метеорологического параметра, заблаговременности и региона. В целом сравниваемые модели показали сопоставимые по уровню успешности результаты. (табл. 4, 5). В подавляющем большинстве случаев методические прогнозы имели преимущество перед климатическими прогнозами;

Таблица 3

Оценки АС прогнозов температуры на уровне 2 м в 2007–2008 гг.

		Сев. полушарие (20–90°с.ш.)	Тропики (20°ю.ш.–20°с.ш.)	Россия (30–180°в.д., 50–70°с.ш.)
1-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,29	0,40	0,20
	ГГО	0,32	0,55	0,26
	Т41L15	0,11	–0,06	0,21
	ГМЦ+ГГО	0,37	0,52	0,28
2-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,11	0,36	0,09
	ГГО	0,12	0,40	0,03
	Т41L15	0,08	–0,08	0,12
	ГМЦ+ГГО	0,14	0,41	0,09
3-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,08	0,30	0,08
	ГГО	0,13	0,33	0,06
	Т41L15	0,10	–0,08	0,10
	ГМЦ+ГГО	0,13	0,32	0,11
Сезон	ГМЦ (ПЛАВ)	0,24	0,42	0,22
	ГГО	0,23	0,51	0,12
	Т41L15	0,12	–0,09	0,16
	ГМЦ+ГГО	0,28	0,48	0,21

Таблица 4

Оценки ρ прогнозов температуры на уровне 2 м в 2007–2008 гг.

		Сев. полушарие (20–90°с.ш.)	Тропики (20°ю.ш.–20°с.ш.)	Россия (30–180°в.д., 50–70°с.ш.)
1-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,31	0,40	0,36
	ГГО	0,36	0,46	0,33
	ГМЦ+ГГО	0,38	0,46	0,42
2-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,21	0,34	0,22
	ГГО	0,24	0,36	0,15
	ГМЦ+ГГО	0,24	0,37	0,22
3-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,17	0,28	0,22
	ГГО	0,21	0,28	0,16
	ГМЦ+ГГО	0,23	0,30	0,26
Сезон	ГМЦ (ПЛАВ)	0,31	0,38	0,43
	ГГО	0,34	0,41	0,31
	ГМЦ+ГГО	0,38	0,42	0,46

Оценки ρ прогнозов осадков в 2007–2008 гг.

		Сев. полушарие (20–90°с.ш.)	Тропики (20°ю.ш.–20°с.ш.)	Россия (30–180°в.д., 50–70°с.ш.)
1-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,12	0,12	0,09
	ГГО	0,09	0,18	0,11
	ГМЦ+ГГО	0,12	0,16	0,13
2-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,05	0,10	0,01
	ГГО	0,01	0,13	–0,04
	ГМЦ+ГГО	0,02	0,05	0,06
3-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,04	0,09	0,03
	ГГО	0,03	0,12	–0,03
	ГМЦ+ГГО	0,04	0,12	0,01
Сезон	ГМЦ (ПЛАВ)	0,08	0,12	0,04
	ГГО	0,05	0,16	0,05
	ГМЦ+ГГО	0,07	0,15	0,08

– по критерию ROC во внетропических широтах Северного полушария оценки прогнозов ГМЦ (ПЛАВ) и ГГО за период испытаний были близки (табл. 6–8). В тропиках прогнозы ГГО показали более высокие оценки. Успешность методических вероятностных прогнозов Т2м по территории России заметно превышала уровень климатических прогнозов. Превышение успешности прогнозов осадков над уровнем случайного прогноза было незначительным.

Таблица 6

Оценки ROC прогнозов температуры на уровне 2 м в 2007–2008 гг.

		Сев. полушарие (20–90°с.ш.)	Тропики (20°ю.ш.–20°с.ш.)	Россия (30–180°в.д., 50–70°с.ш.)
1-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,65	0,69	0,68
	ГГО	0,68	0,72	0,67
	ГМЦ+ГГО	0,69	0,73	0,70
2-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,62	0,67	0,62
	ГГО	0,62	0,67	0,60
	ГМЦ+ГГО	0,64	0,69	0,64
3-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,58	0,62	0,61
	ГГО	0,59	0,62	0,59
	ГМЦ+ГГО	0,60	0,64	0,63
Сезон	ГМЦ (ПЛАВ)	0,66	0,67	0,72
	ГГО	0,67	0,69	0,67
	ГМЦ+ГГО	0,69	0,71	0,73

Таблица 7

Оценки ROC вероятностных прогнозов аномалий H500 в 2007–2008 гг.

		Сев. полушарие (20–90°с.ш.)	Тропики (20°ю.ш.–20°с.ш.)	Россия (30–180°в.д., 50–70°с.ш.)
1-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,60	0,58	0,59
	ГГО	0,59	0,67	0,59
	ГМЦ+ГГО	0,61	0,64	0,61
Сезон	ГМЦ (ПЛАВ)	0,61	0,58	0,57
	ГГО	0,57	0,71	0,54
	ГМЦ+ГГО	0,61	0,67	0,57

Оценки ROC прогнозов осадков в 2007–2008 гг.

		Сев. полушарие (20–90°с.ш.)	Тропики (20°ю.ш.–20°с.ш.)	Россия (30–180°в.д., 50–70°с.ш.)
1-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,54	0,54	0,54
	ГГО	0,56	0,57	0,55
	ГМЦ+ГГО	0,57	0,57	0,56
2-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,51	0,53	0,50
	ГГО	0,54	0,54	0,50
	ГМЦ+ГГО	0,53	0,54	0,50
3-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,51	0,52	0,51
	ГГО	0,55	0,55	0,52
	ГМЦ+ГГО	0,55	0,55	0,52
Сезон	ГМЦ (ПЛАВ)	0,53	0,54	0,52
	ГГО	0,55	0,57	0,52
	ГМЦ+ГГО	0,55	0,56	0,53

Помимо оценки и взаимного сравнения успешности прогнозов индивидуальных моделей, были получены оценки успешности совместных прогнозов моделей ПЛАВ и T42L14 (см. графы «ГМЦ+ГГО» в табл. 1–9). При построении совместных прогнозов данные двух этих моделей брались с равными весами.

Таблица 9

Оценки AC прогнозов осадков в 2007–2008 гг.

		Сев. полушарие (20–90°с.ш.)	Тропики (20°ю.ш.–20°с.ш.)	Россия (30–180°в.д., 50–70°с.ш.)
1-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,09	0,14	0,13
	ГГО	0,13	0,24	0,13
	T41L15	0,11	0,01	0,12
	ГМЦ+ГГО	0,13	0,23	0,17
2-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,09	0,11	–0,03
	ГГО	0,07	0,17	–0,05
	T41L15	0,04	0,03	0,04
	ГМЦ+ГГО	0,10	0,16	–0,05
3-й месяц	ГМЦ (ПЛАВ)	0,08	0,09	–0,01
	ГГО	0,06	0,16	–0,05
	T41L15	0,06	0,03	0,07
	ГМЦ+ГГО	0,09	0,15	–0,02
Сезон	ГМЦ (ПЛАВ)	0,13	0,18	–0,03
	ГГО	0,11	0,27	0,01
	T41L15	0,11	0,03	0,12
	ГМЦ+ГГО	0,14	0,26	–0,01

Результаты испытаний показали:

– для северных экстратропиков и территории России совместные прогнозы, как правило, были успешнее прогнозов индивидуальных моделей;

– в тропической зоне в большинстве случаев более успешными были прогнозы ГГО.

На территории России средние квадратические ошибки RMSE совместных прогнозов температуры воздуха T_{2м} составили 2,3, 2,4, 2,4 и 1,6 °С для 1, 2, 3-го месяцев и сезона

соответственно (аналогичные ошибки климатического прогноза были равны 2,7, 2,6, 2,6 и 1,8 °С). Корреляция аномалий на территории России была 0,28, 0,09, 0,11 и 0,21 в 1, 2, 3-й месяцы и сезон соответственно. Совместный вероятностный прогноз также имел наиболее высокие показатели успешности.

Выводы об успешности прогнозов, полученные по данным оперативных испытаний, в целом согласуются с выводами, полученными по ряду ретроспективных прогнозов. В частности, подтверждается относительно более высокая успешность прогнозов в тропиках. Успешность прогнозов сезонных аномалий приземной температуры воздуха во внетропических широтах и в среднем по территории России лишь немного выше успешности климатического прогноза, что в основном обеспечивается относительно успешным прогнозом на первый месяц. Успешность прогнозов осадков остается низкой по всем регионам.

Заключение

В соответствии с рекомендациями ЦМКП:

- в оперативную практику в качестве консультативных были внедрены технологии глобальных вероятностных прогнозов аномалий H500, атмосферного давления на уровне моря, температуры воздуха на уровне 850 гПа и у Земли, а также атмосферных осадков на основе моделей ПЛАВ (ГМЦ) и T42L14 (ГГО) на срок до сезона;

- обеспечено регулярное предоставление прогностической информации на срок до сезона и мультимодельных вероятностных прогнозов, основанных на моделях ПЛАВ и T42L14, а также информации об оправдываемости прогнозов в период оперативных испытаний для пользователей Североевразийского климатического центра (<http://seakc.meteoinfo.ru>);

- продолжаются совместные исследования по совершенствованию технологий метеорологических прогнозов на срок до сезона на основе развития моделей атмосферы высокого разрешения, улучшения схем параметризации физических процессов, привлечения более полной фактической информации, оптимизации процедур интерпретации результатов моделирования и построения мультимодельных ансамблей.

Испытывавшаяся в 2007–2008 гг. версия модели ПЛАВ была практически неизменной в ходе испытаний и в основном соответствовала версии ПЛАВ-2005. Параллельно в Гидрометцентре России велась работа по подготовке новой версии модели. Была заменена параметризация процессов на поверхности суши. Реализована более совершенная параметризация пропорций облачности в ячейках сетки. Заменена

параметризация влияния снега на альбедо и излучательную способность поверхности. В описание погранслоя введена "интерактивная" длина перемешивания, обеспечивающая лучшее воспроизведение вертикальных профилей скорости и температуры при устойчивой стратификации. Заменена параметризация длинноволновой радиации. В новой версии модели существенно улучшились оценки всех полей в тропиках. Во внетропических широтах оценки, в среднем, тоже улучшились.

В 2008–2009 гг. в ГГО велась активная работа по улучшению схемы прогноза, включающая подготовку и испытание версии модели атмосферы T63L25, имеющей в полтора раза более высокое горизонтальное разрешение и 25 уровней по вертикали. При этом были уточнены схемы параметризации ряда физических процессов и уменьшены систематические ошибки. Испытание модели в режиме ансамблевого прогноза на месяц, включающее 20-летний ряд ежемесячных прогнозов, рассчитанных по данным реанализа, и 2 года еженедельных квази-оперативных прогнозов показали, что успешность прогнозов улучшилась. Особенно заметно это проявилось в начале периода интегрирования.

В соответствии с рекомендацией ЦМКП в ближайшем будущем предполагается начать испытания технологии выпуска прогнозов на месяц с использованием новых версий моделей Гидрометцентра России и ГГО.

Список литературы

1. Киктев Д.Б., Тросников И.В., Толстых М.А., Зарипов Р.Б. Оценки успешности прогнозов сезонных аномалий метеорологических полей для модели SL-AV в эксперименте SMIP-2 // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 6. – С. 16–26.
2. Курбаткин Г.П., Дегтярев А.И., Фролов А.В. Спектральная модель атмосферы, инициализация и база данных для численного прогноза погоды. – СПб.: Гидрометеоздат, 1994. – 184 с.
3. Мирвис В.М., Мелешко В.П., Гаврилина В.М., Матюгин В.А., Львова Т.Ю. Прогноз метеорологических величин на предстоящий месяц гидродинамико-статистическим методом ГГО. I. Категорические прогнозы – результаты 26-летних серий испытаний // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 1. – С. 5–18.
4. Мирвис В.М., Мелешко В.П., Гаврилина В.М., Матюгин В.А., Львова Т.Ю. Прогноз метеорологических величин на предстоящий месяц гидродинамико-статистическим методом ГГО. II. Вероятностный прогноз: анализ и интерпретация распределения ансамбля, методика и качество прогнозов // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 2. – С. 5–16.
5. Муравьев А.В. и др. Долгосрочное прогнозирование аномальных синоптических ситуаций. Основные конструктивные и технические характеристики динамико-статистической схемы долгосрочного прогноза погоды // Метеорология и гидрология. – 1999. – № 3. – С. 28–36.
6. Муравьев А.В. и др. Долгосрочное прогнозирование аномальных синоптических ситуаций. II. Условия эксперимента и результаты прогноза // Метеорология и гидрология. – 1999. – № 4. – С. 5–15.

7. Пичугин Ю.А., Мелешко В.П., Матюгин В.А., Гаврилина В.М. Гидродинамические долгосрочные прогнозы погоды по ансамблю начальных состояний // Метеорология и гидрология. – 1998. – № 2. – С. 5–15.
8. Толстых М.А. Глобальная полулагранжева модель численного прогноза погоды. – М, Обнинск: ОАО ФОП. – 2010. – 111 с.
9. Шнееров Б.Е., Мелешко В.П. и др. Современная версия глобальной модели общей циркуляции атмосферы ГГО (Версия MGO-2) // Труды ГГО. – 2001. – Вып. 550. – С. 3–43.
10. Janowiak J. E., Xie P. CAMS_OPI: a global satellite-raingauge merged product for real-time precipitation monitoring applications // J. Climate. – 1999. – P. 3335–3342.
11. Kalnay E. et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // BAMS. – 1996. – V. 77. – P. 437–470.
12. Kanamitsu M. et al. NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis (R-2) // BAMS. – 2002. – V. 83. – P. 1631–1643.
13. Reynolds R.W., Rayner N.A., Smith T.M., Stokes D.C., Wang W. An Improved In Situ and Satellite SST Analysis for Climate // J. Climate. – 2002. – V. 15. – P. 1609–1625.
14. Toth Z., Kalnay E. Ensemble Forecasting at NCEP and the Breeding Method // Mon. Wea. Rev. – 1997. – P. 3297–3319.
15. WMO. Standardised verification system (SVS) for long-range forecasts (LRF). New attachment II-9 to the Manual on the GDPS (WMO-No. 485) // WMO. Geneva – 2002. – V. 1.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСПЕШНОСТИ ПРОГНОЗОВ
ЭЛЕМЕНТОВ ПОГОДЫ РЯДА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ
И ЗАРУБЕЖНЫХ МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРЫ
РАЗЛИЧНОГО МАСШТАБА
(в период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.)**

Представлены результаты сравнительной оценки успешности прогнозов метеорологических элементов (температуры воздуха, осадков, давления на уровне моря, ветра и влажности воздуха), предвычисленных на основе отечественных моделей и моделей атмосферы зарубежных центров. В сравнении участвовали 16 гидродинамических моделей атмосферы, из которых семь глобальных, одна региональная и восемь мезомасштабных. Исходный срок прогнозов – 00 ч ВСВ. Период проведения сравнения – с 1 мая по 30 сентября 2010 г. Область оценки прогнозов – Европейская территория России. Показатели успешности прогнозов рассчитывались путем сопоставления прогностических величин с данными наблюдений 432 синоптических станций, расположенных на указанной территории.

Результаты сравнения показали следующее:

– экспериментальные мезомасштабные модели имели абсолютные ошибки прогноза приземной температуры воздуха меньше, чем отечественные глобальные модели за этот теплый период на 0,2–0,9 °С;

– прогнозы осадков на основе модели COSMO.RU-7 оказались более успешными, чем прогнозы осадков большинства рассматриваемых моделей атмосферы, также в этой модели вполне удачны прогнозы влажности и приземного ветра.

ЦМКП рекомендовала ГУ «Гидрометцентр России» продолжить сравнительную оценку краткосрочных прогнозов метеорологических величин на основе модельных прогнозов различного масштаба (в том числе и с шагом сетки 2,8–7,0 км) и ежегодно представлять результаты на рассмотрение ЦМКП для установления их приоритетов в использовании и перспектив развития.

В соответствии с решением ЦМКП от 22 октября 2007 года (пункт 1.4) в ГУ «Гидрометцентр России» была продолжена ежегодная сравнительная оценка успешности прогнозов погоды ряда отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба для следующих метеорологических элементов (у поверхности Земли): температура воздуха, осадки, давление на уровне моря, ветер, влажность воздуха. Цель сравнения – определить базовую региональную или мезомасштабную модель,

удовлетворяющую требованиям высокого качества выходной продукции, оперативности, технологичности и возможности эксплуатации модели в региональных центрах Росгидромета.

В течение последнего года в ГУ «Гидрометцентр России» происходила замена устаревших мезомоделей MM5 и ETA (США) на более совершенную WRF (США). У модели COSMO.RU сделан переход от сетки с шагом 14 км к шагу 7 км. Кроме того, результаты сравнения представлены только за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г. Однако и в этот период по различным техническим причинам ряд оперативных прогнозов у многих мезомасштабных моделей оказались с большими пропусками.

Оценка успешности велась для прогнозов, стартующих в 00 ч ВСВ. Заблаговременность прогнозов составляла трое суток; область оценки – Европейская территория России (ЕТР) (45°с.ш.–65°с.ш., 27° в.д.–57° в.д.). Оценка проводилась по данным 430 синоптических станций, расположенных на этой территории, наблюдения которых поступают в Гидрометцентр России.

Оценивались прогнозы следующих моделей атмосферы:

а) мезомасштабные (экспериментальные):

- MM5K (отв. Г.Ю. Калугина, АНО «Московское Гидрометбюро», шаг сетки 20 км);
- Zagi – модель WRF (отв. Р.Б. Зарипов, ГУ «Гидрометцентр России», шаг сетки 20 км);
- Zn03 – модель WRF (отв. В.Д. Жупанов, Н.Ф. Вельтищев, ГУ «Гидрометцентр России», территория ЕТР+Зап. Сибирь, шаг сетки 3 км);
- Zn10 – модель WRF (отв. В.Д. Жупанов, Н.Ф. Вельтищев, ГУ «Гидрометцентр России», территория России, шаг сетки 10 км);
- Ry20 – модель WRF (отв. К.Г. Рубинштейн, ГУ «Гидрометцентр России», шаг сетки 20 км);
- Ry10 – модель WRF (отв. К.Г. Рубинштейн, ГУ «Гидрометцентр России», шаг сетки 10 км);
- Tros – модель WRF (отв. И.В. Тросников, ГУ «Гидрометцентр России», шаг сетки 20 км);
- COSMO.RU-7 (отв. Г.С. Ривин, ГУ «Гидрометцентр России», территория ЕТР+Зауралье, шаг сетки 7 км);

б) региональные:

- REGION (ГУ «Гидрометцентр России», автор – В.М. Лосев);

в) глобальные:

- T85L31 (спектральная модель ГУ «Гидрометцентр России»);
- T169L31 (спектральная, экспериментальная модель ГУ «Гидрометцентр России»);
- PLAV – полулагранжева модель с постоянным разрешением (автор – М.А. Толстых, ГУ «Гидрометцентр России»);
- UKMO (Великобритания, в г. Эксетер находится Метеоцентр Великобритании);
- NCEP (США);
- DVD (ФРГ, в г. Оффенбах находится Метеоцентр ФРГ);
- JAPA (Япония).

Территория прогнозов по мезомоделям MM5K, Zari, Ry20, Ry10 и Tros примерно соответствует области оценки.

В качестве начальных и граничных условий для расчета экспериментальных мезомасштабных прогнозов использовались данные NCEP (США), а для модели COSMO.RU – данные DWD (ФРГ).

Представлены также оценки экспериментальных ансамблевых прогнозов температуры на основе трех моделей атмосферы: UKMO+NCEP+JAPA (AnUNJ), и осадков – на основе двух моделей: NCEP+JAPA (AnNJ).

Методика сравнения предусматривала оценку прогнозов давления, приземной температуры воздуха, точки росы, ветра и осадков.

Обозначения в табл. 1–10, 18–20: BIAS, RMS, ABS, OTNO и %>3 соответствуют средней, среднеквадратической, средней абсолютной и относительной ошибкам и проценту прогнозов с ошибкой больше некоторого порога (3 °C). Обозначения в табл. 11-14: U, Uос, Uос, P_{иг}, cr/os и ab/os соответствуют общей оправдываемости, оправдываемости прогноза наличия осадков, критерию качества Пирси-Обухова, средней и средней абсолютной ошибкам в мм/12 ч. Обозначения в табл. 15–17: Vek.os. и RMS vek.os. – абсолютная и среднеквадратическая ошибки прогнозов вектора ветра соответственно. N – количество оцененных прогнозов. По техническим причинам число N для разных моделей неодинаково, что несколько снижает общую достоверность сравнения. Модели, где N явно недостаточно, помечены *. Модели, где N совершенно недостаточно, помечены ** (это модели Zn10 и Zn03, которые имеют небольшой пространственный шаг, но охватывают большую территорию и поэтому представляют большой интерес; оценки по этим моделям приведены для сведения).

Показатели успешности прогнозов давления на уровне моря заблаговременностью 24, 36, 48, 60 и 72 ч на Европейской территории России приведены в табл. 1–5. Наименьшие погрешности из испытываемых мезомоделей оказались у модели Zari.

Показатели успешности прогнозов температуры воздуха заблаговременностью до 72 ч на Европейской территории России в теплый период года приведены в табл. 6–10. При заблаговременности прогнозов 24–48 ч и 72 ч наименьшие погрешности имели модель Zari и экспериментальный ансамбль AnUNJ, при заблаговременности 60 ч – модель COSMO-RU.

Региональная модель ГУ «Гидрометцентр России» имела небольшие погрешности прогнозов температуры воздуха при заблаговременности 24 и 36 ч.

Среди отечественных глобальных моделей атмосферы меньшие ошибки температуры воздуха имела модель T85L31 в прогнозах на 48 ч, модель PLAV – в прогнозах на 60 ч и модель T169L31 – в прогнозах на 72 ч.

Показатели успешности прогнозов осадков заблаговременностью 18, 30, 42 и 54 ч приведены в табл. 11–14. Из этих таблиц видно преимущество прогнозов осадков по модели COSMO-RU.

Приведенные в табл. 15–17 и 18–20 оценки успешности прогнозов ветра и точки росы свидетельствуют о том, что прогнозы этих метеорологических элементов довольно успешны.

Отметим, однако, что ошибки прогноза давления на уровне моря, температуры и приземного ветра в глобальных моделях UKMO и NCEP пока остаются меньшими, чем у всех испытываемых мезомоделей.

В целом результаты сравнения показали следующее:

- экспериментальные мезомасштабные модели имели абсолютные ошибки прогноза приземной температуры воздуха меньшие, чем отечественные глобальные модели за этот теплый период на 0,2–0,9 °С;

- прогнозы осадков на основе модели COSMO.RU-7 оказались более успешными, чем прогнозы осадков большинства рассматриваемых моделей атмосферы, также в этой модели вполне удачны прогнозы влажности и приземного ветра.

Для освоения новой формы представления прогностической информации и опытного использования прогнозы по модели COSMO.RU-7 распространяются в виде карт и метеограмм в ЦГМС ЦФО и другие учреждения Росгидромета.

Решение ЦМКП от 26.10.2010 года:

Заслушав и обсудив представленные результаты, Комиссия одобрила выполненную ГУ «Гидрометцентр России» работу по сравнительной оценке успешности прогнозов элементов погоды на основе ряда отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба и отметила ее методическую обоснованность и практическую важность.

ЦМКП рекомендовала ГУ «Гидрометцентр России»:

- продолжить сравнительную оценку краткосрочных прогнозов метеорологических величин на основе модельных прогнозов различного масштаба (в том числе и с шагом сетки 2,8–7,0 км) и ежегодно представлять результаты на рассмотрение ЦМКП для установления их приоритетов в использовании и перспектив развития;

- провести работы по созданию специализированной технологии для адекватной оценки глобальных и мезомасштабных прогнозов в течение 2011 года;

- продолжить работу по развитию экспериментальных мезомасштабных моделей атмосферы с акцентом на методические основы и возможность прогнозирования опасных явлений погоды и резких ее изменений;

- результаты опытного использования мезомасштабных моделей представить на рассмотрение ЦМКП в июне 2011 года в соответствии со сроками Плана испытаний Росгидромета.

Комиссия рекомендовала ГУ «Гидрометцентр России» совместно с ГВЦ Росгидромета продолжить работы по освоению нового высокопроизводительного вычислительного комплекса с целью регулярного оперативного функционирования мезомасштабных моделей.

ЦМКП повторно предложила УГМК Росгидромета (отв. В.В. Степанов) совместно с ГУ «ГГО» и ГУ «Гидрометцентр России» рассмотреть вопрос об организации измерений количества осадков на метеорологических станциях России за 6-часовые интервалы времени (вместо 12-часовых интервалов) в соответствии с действующей международной практикой, предложения по реализации представить в ЦМКП в первом квартале 2011 года.

**Характеристики успешности прогнозов давления на уровне моря (гПа)
на 24 ч по ЕТР за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	N
UKMO	-0,65	1,09	0,88	0,27	33218
NCEP	-0,33	0,98	0,75	0,23	32803
DWD	-0,69	1,28	1,02	0,32	33218
JAPA	-0,50	1,06	0,84	0,26	32267
T85L31	-0,06	1,53	1,16	0,36	33218
PLAV	-1,67	2,04	1,77	0,55	33218
REGION	-0,66	1,20	0,96	0,30	33218
MM5K	-0,03	1,11	0,85	0,26	32791
Tros*	-0,33	1,10	0,83	0,27	25138
Zari	-0,26	1,06	0,81	0,25	31942
COSMO.RU-7	-0,40	1,32	0,98	0,30	32264
Zn10**	-0,34	1,44	1,07	0,31	14212
Zn03**	0,12	1,77	1,02	0,29	19149

**Характеристики успешности прогнозов давления на уровне моря (гПа)
на 36 по ЕТР за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	N
UKMO	-0,59	1,23	0,96	0,32	33065
NCEP	-0,52	1,27	0,99	0,33	32647
DWD	-0,70	1,54	1,20	0,40	31355
JAPA	-0,68	1,40	1,10	0,26	32111
T85L31	0,88	2,23	1,74	0,58	33065
PLAV	-1,76	2,30	1,93	0,64	33065
REGION	-0,82	1,46	1,16	0,39	33065
MM5K	0,21	1,46	1,14	0,38	32637
Tros*	-0,25	1,36	1,04	0,35	24539
Zari	0,22	1,33	1,02	0,34	30925
COSMO.RU-7	-1,20	2,00	1,57	0,36	31674
Zn10**	-0,37	1,78	1,36	0,29	11858
Zn03**	0,26	2,02	1,29	0,28	17478

Таблица 3

**Характеристики успешности прогнозов давления на уровне моря (гПа)
на 48 ч по ЕТР за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	N
UKMO	-1,10	1,67	1,36	0,43	33199
NCEP	-0,63	1,47	1,15	0,36	32773
DWD	-1,03	1,95	1,53	0,48	33199
JAPA	-0,63	1,52	1,19	0,24	32237
T85L31	-0,25	2,43	1,87	0,59	33199
PLAV	-2,85	3,33	2,94	0,93	33199
REGION	-0,94	1,67	1,33	0,42	33199
MM5K	-0,06	1,66	1,29	0,41	32772
Tros*	-0,77	1,69	1,31	0,42	24687
Zari	-0,27	1,45	1,12	0,35	31062
COSMO.RU-7	-0,75	1,99	1,50	0,30	31802
Zn10**	-0,75	2,17	1,65	0,31	10774
Zn03**	-0,01	2,64	1,49	0,29	14437

Таблица 4

**Характеристики успешности прогнозов давления на уровне моря (гПа)
на 60 ч по ЕТР за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	N
UKMO	-0,77	1,66	1,29	0,40	33314
NCEP	-0,83	1,77	1,38	0,43	32887
DWD	-0,90	2,09	1,64	0,51	32032
JAPA	-0,62	1,74	1,36	0,25	32355
T85L31	0,58	2,95	2,27	0,71	33314
PLAV	-2,51	3,23	2,71	0,85	33314
Zari	0,16	1,71	1,32	0,41	30742
COSMO.RU-7	-1,45	2,52	1,98	0,37	31487
Zn10**	-0,85	2,54	1,93	0,33	9932

Таблица 5

**Характеристики успешности прогнозов давления на уровне моря (гПа)
на 72 ч по ЕТР за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	N
UKMO	-1,09	2,02	1,62	0,49	33201
NCEP	-0,79	2,07	1,60	0,48	32773
DWD	-1,08	2,47	1,95	0,59	33201
JAPA	-0,42	2,02	1,57	0,27	32236
T85L31	-0,40	3,35	2,59	0,78	33201
PLAV	-3,00	3,81	3,27	0,99	33201
Zari	-0,26	2,05	1,56	0,46	30233
COSMO.RU-7	-0,79	2,53	1,94	0,34	31377
Zn10**	-1,12	3,05	2,28	0,35	9464

**Характеристики успешности прогнозов температуры (°C)
на 24 ч по ЕТР за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%>3	N
UKMO	0,95	2,21	1,70	0,68	16	33629
NCEP	-0,29	2,14	1,67	0,66	15	33194
DWD	2,00	3,05	2,41	0,95	31	32337
JAPA	1,48	2,85	2,18	0,86	27	33194
T85L31	-0,24	2,65	2,08	0,82	24	33194
T169	-0,91	2,86	2,20	0,86	27	29840
PLAV	2,12	3,65	2,80	1,11	37	33194
REGION	1,11	2,41	1,88	0,74	20	33194
MM5K	-0,45	2,29	1,77	0,70	17	32762
Zari	-0,76	2,25	1,74	0,69	17	31382
Tros*	0,67	2,73	2,07	0,85	23	24662
Ry20	-1,20	2,47	1,91	0,76	20	29609
COSMO.RU-7	2,08	3,12	2,45	0,97	32	32768
Ry10*	-1,47	2,59	2,03	0,81	23	23636
Zn10**	-1,29	2,81	2,22	0,84	27	14683
Zn03**	-1,07	3,05	2,19	0,85	24	19624
AnUNJ	0,03	1,75	1,36	0,54	8	33194

**Характеристики успешности прогнозов температуры (°C)
на 36 ч по ЕТР за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%>3	N
UKMO	0,11	2,19	1,62	0,17	13	33449
NCEP	0,48	2,40	1,78	0,18	17	33018
DWD	0,76	2,69	2,05	0,21	22	32584
JAPA	-0,65	2,61	2,03	0,21	22	33018
T85L31	-0,32	3,52	2,67	0,28	34	33018
T169L31	-2,63	4,45	3,60	0,37	52	29645
PLAV	1,42	2,97	2,30	0,24	28	33018
REGION	0,33	2,42	1,79	0,19	17	33018
MM5K	-1,68	3,08	2,47	0,26	33	32585
Zari	-1,15	2,69	2,13	0,22	24	30357
Tros*	-0,10	2,37	1,83	0,18	18	24053
Ry20	-1,10	2,62	2,09	0,21	24	29425
COSMO.RU-7	0,11	2,59	1,96	0,20	20	32155
Ry10*	-1,14	2,63	2,07	0,21	23	23419
Zn10**	0,21	2,64	1,94	0,22	20	12313
Zn03**	-0,25	3,29	2,12	0,22	21	17934
AnUNJ	0,02	1,95	1,42	0,15	10	33018

**Характеристики успешности прогнозов температуры (°C)
на 48 ч по ЕТР за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%>3	N
UKMO	1,10	2,39	1,86	0,56	20	33598
NCEP	-0,19	2,28	1,79	0,54	18	33165
DWD	2,10	3,24	2,58	0,78	35	32729
JAPA	1,81	3,13	2,44	0,73	32	33165
T85L31	-0,21	3,24	2,56	0,77	34	33165
T169L31	-1,16	3,31	2,58	0,77	34	29793
PLAV	2,64	4,14	3,26	0,98	45	33165
REGION	1,28	2,58	2,03	0,61	23	33165
MM5K	-0,55	2,50	1,95	0,59	22	32733
Zari	-0,86	2,43	1,89	0,57	20	30495
Tros*	0,87	2,83	2,17	0,68	26	24200
Ry20	-0,99	2,53	1,96	0,60	22	29574
COSMO.RU-7	2,05	3,25	2,56	0,77	34	32304
Ry10*	-1,27	2,63	2,05	0,64	23	23578
Zn10**	-1,29	2,97	2,33	0,65	30	10805
Zn03**	-0,94	3,33	2,35	0,71	27	14891
AnUNJ	0,09	1,95	1,47	0,44	10	33165

**Характеристики успешности прогнозов температуры (°C)
на 60 ч по ЕТР за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%>3	N
UKMO	0,23	2,48	1,85	0,19	18	33259
NCEP	0,67	2,69	2,01	0,21	21	32904
DWD	0,93	3,01	2,33	0,24	28	32392
JAPA	-0,37	2,73	2,11	0,22	25	33259
T85L31	-0,22	4,31	3,31	0,34	44	33259
T169L31	-3,00	5,00	4,06	0,42	57	29888
PLAV	1,66	3,35	2,57	0,26	33	33259
Zari	-1,40	3,18	2,49	0,25	32	30166
Ry20	-1,25	3,02	2,38	0,24	30	29655
COSMO.RU-7	0,13	2,91	2,23	0,23	26	31527
Ry10*	-1,16	2,92	2,27	0,23	27	23637
Zn10**	0,14	2,89	2,12	0,24	23	10385
AnUNJ	0,10	2,16	1,60	0,16	13	32904

**Характеристики успешности прогнозов температуры (°C)
на 72 ч по ЕТР за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%>3	N
UKMO	1,18	2,57	2,01	0,55	23	33110
NCEP	-0,17	2,48	1,94	0,53	21	32755
DWD	2,15	3,43	2,71	0,74	37	32678
JAPA	1,99	3,39	2,64	0,73	35	33110
T85L31	-0,27	3,98	3,10	0,85	42	33110
T169L31	-1,44	3,65	2,87	0,79	39	29353
PLAV	2,81	4,41	3,52	0,97	49	33110
Zari	-1,00	2,68	2,09	0,57	24	29605
Ry20	-0,93	2,89	2,21	0,61	26	29529
COSMO.RU-7	2,04	3,40	2,67	0,74	36	31391
Ry10*	-1,20	2,86	2,22	0,62	27	23094
Zn10**	-1,37	3,15	2,52	0,63	34	9917
AnUNJ	0,13	2,05	1,61	0,44	13	32538

**Характеристики успешности прогнозов осадков (мм/12 ч)
на 18 ч по ЕТР за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	U	Uoc	Pir	cr/os	ab/os	N
UKMO	67,0	48,0	0,49	1,97	4,01	33017
NCEP	80,0	63,0	0,62	1,27	3,77	32582
DWD	78,0	62,0	0,52	-0,72	3,11	32156
JAPA	82,0	71,0	0,55	-2,72	2,80	33017
T85L31	78,0	73,0	0,36	-1,68	2,93	33017
T169L31	79,0	78,0	0,38	-1,59	2,94	30007
PLAV	75,0	56,0	0,52	-0,18	2,97	33017
REGION	76,0	58,0	0,50	-0,75	2,93	33017
MM5K	79,0	64,0	0,56	0,12	3,19	32586
Zari	80,0	63,0	0,61	0,31	3,18	32065
Tros*	74,0	60,0	0,30	-1,56	3,01	25149
Ry20	77,0	59,0	0,57	0,73	3,46	29381
COSMO.RU-7	79,0	64,0	0,55	-0,59	2,99	32201
Ry10*	81,0	66,0	0,59	0,47	3,73	23457
Zn10**	79,0	68,0	0,58	0,24	3,05	14563
Zn03**	81,0	67,0	0,55	-0,14	3,14	19281
AnNJ	82,0	70,0	0,58	-0,51	2,66	33017

**Характеристики успешности прогнозов осадков (мм/12 ч)
на 30 ч по ЕТР за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	U	Uoc	Pir	cr/os	ab/os	N
UKMO	75,0	50,0	0,54	0,55	3,50	32946
NCEP	78,0	54,0	0,58	-0,21	3,11	32523
DWD	78,0	56,0	0,47	-1,36	3,07	32084
JAPA	81,0	61,0	0,51	-2,98	3,02	32517
T85L31	79,0	62,0	0,36	-1,52	3,20	32946
T169L31	80,0	64,0	0,41	-0,61	3,52	29953
PLAV	78,0	56,0	0,48	-1,38	2,89	32946
REGION	74,0	49,0	0,49	-0,84	3,06	32946
MM5K	77,0	53,0	0,51	-0,82	3,05	32512
Zari	78,0	55,0	0,57	-0,42	3,17	31170
Tros*	78,0	59,0	0,28	-1,98	3,18	24626
Ry20	78,0	56,0	0,54	-1,01	2,96	29309
COSMO.RU-7	82,0	66,0	0,49	-0,67	3,33	31657
Ry10*	81,0	60,0	0,51	-0,84	3,23	23398
Zn10**	78,0	64,0	0,53	-0,65	2,82	12423
Zn03**	81,0	59,0	0,48	-1,16	2,74	18817
AnNJ	82,0	65,0	0,54	-1,18	2,68	32946

**Характеристики успешности прогнозов осадков (мм/12 ч)
на 42 ч по ЕТР за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	U	Uoc	Pir	cr/os	ab/os	N
UKMO	65,0	46,0	0,47	2,12	4,24	32985
NCEP	79,0	61,0	0,59	1,04	3,81	32563
DWD	79,0	63,0	0,51	-	-	32126
JAPA	80,0	65,0	0,52	-2,75	2,83	32558
T85L31	77,0	64,0	0,38	-1,25	3,33	32985
T169L31	78,0	67,0	0,41	-0,85	3,42	29973
PLAV	74,0	55,0	0,51	-0,28	3,21	32985
REGION	73,0	54,0	0,45	-1,17	3,01	32985
MM5K	76,0	58,0	0,49	-0,03	3,41	32551
Zari	76,0	57,0	0,55	0,37	3,53	31187
Tros*	71,0	50,0	0,25	-1,62	3,14	24688
Ry20	74,0	54,0	0,51	0,63	3,84	29349
COSMO.RU-7	80,0	66,0	0,54	-0,70	3,08	31695
Ry10*	78,0	62,0	0,53	0,36	3,88	23415
Zn10**	76,0	66,0	0,53	-0,01	3,32	11971
Zn03**	79,0	60,0	0,52	-0,27	3,41	16308
AnNJ	80,0	64,0	0,56	-0,69	2,82	33322

**Характеристики успешности прогнозов осадков (мм/12 ч)
на 54 ч по ЕТР за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	U	Uoc	Pir	cr/os	ab/os	N
UKMO	80,0	59,0	0,45	-1,28	3,01	32291
NCEP	76,0	50,0	0,52	-0,36	3,28	32291
DWD	76,0	50,0	0,41	1,11	5,46	31470
JAPA	78,0	55,0	0,45	-2,91	2,95	32291
T85L31	78,0	54,0	0,33	-1,37	3,42	32718
T169L31	77,0	53,0	0,37	-0,40	3,90	29737
PLAV	77,0	51,0	0,44	-1,26	3,11	32718
Zari	74,0	48,0	0,48	-0,48	3,27	30474
Ry20	75,0	48,0	0,45	-1,19	3,13	29109
COSMO.RU-7	80,0	60,0	0,45	-0,75	3,29	31446
Ry10*	78,0	53,0	0,43	-0,93	3,39	23201
Zn10**	76,0	61,0	0,48	-0,78	2,94	10652
Zn03**	81,0	58,0	0,47	-0,90	2,98	12776
AnNJ	78,0	54,0	0,49	-0,99	2,90	32291

**Характеристики успешности прогнозов скорости ветра (м/с)
на 24 ч по ЕТР за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	BIAS	Vek.os	RMS vek.os.	N
UKMO	1,41	2,18	2,43	33341
NCEP	1,17	2,02	2,28	32048
DWD	1,52	2,30	2,58	31844
JAPA	-0,07	1,44	1,77	32906
T85L31	1,37	2,34	2,63	33117
PLAV	0,64	1,78	2,14	33774
MM5K	1,65	2,67	2,99	32689
Zari	1,81	2,53	2,84	31843
Tros	1,69	2,40	2,67	25054
Ry20	1,77	2,52	3,13	29672
Zn10**	0,40	2,39	2,71	14710
Ry10*	1,47	2,24	2,54	23698
Zn03**	1,36	2,29	2,62	19488
COSMO.RU-7	1,43	2,22	2,53	21652

**Характеристики успешности прогнозов скорости ветра (м/с) на 36 ч по ЕТР
за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	BIAS	Vek.os	RMS vek.os.	N
UKMO	0,69	2,49	2,89	33224
NCEP	0,26	2,36	2,77	31929
DWD	0,55	2,51	2,94	32573
JAPA	-1,51	2,37	2,81	32788
T85L31	-0,20	2,52	2,99	32998
PLAV	0,47	2,49	2,92	33657
MM5K	0,75	3,01	3,57	32571
Zari	1,71	3,25	3,69	30861
Tros*	1,74	3,24	3,68	24497
Ry20	1,76	3,30	3,77	29548
Zn10**	1,62	3,49	3,99	12368
Ry10*	1,63	3,25	3,72	23515
Zn03**	1,60	3,41	3,88	17831
COSMO.RU-7*	1,20	2,90	3,36	21473

**Характеристики успешности прогнозов скорости ветра (м/с) на 48 ч по ЕТР
за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	BIAS	Vek.os	RMS vek.os.	N
UKMO	1,42	2,26	2,54	33300
NCEP	1,14	2,08	2,35	32001
DWD	1,58	2,44	2,76	32230
JAPA	-0,06	1,48	1,81	32868
T85L31	1,45	2,50	2,83	33083
PLAV	0,65	1,87	2,29	33732
MM5K	1,67	2,76	3,10	32658
Zari	1,82	2,63	2,96	30957
Tros*	1,76	2,55	2,86	24597
Ry20	1,90	2,73	3,55	29631
Zn10**	1,36	2,54	2,94	10831
Ry10*	1,50	2,36	2,68	23616
Zn03**	1,40	2,39	2,76	14733
COSMO.RU-7*	1,50	2,37	2,71	21618

**Характеристики успешности прогнозов влажности воздуха ($td, ^\circ C$)
на 24 ч по ЕТП за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%>3	N
UKMO	-2,54	4,55	3,16	1,24	37	33100
NCEP	-1,29	2,85	2,10	0,82	24	32683
JAPA	-0,61	3,35	2,24	0,87	23	33370
PLAV	-1,78	3,64	2,85	1,12	39	33100
Tros*	0,41	2,19	1,65	0,66	15	25057
Zari	-0,14	2,19	1,63	0,64	14	30981
Ry20	0,93	2,41	1,83	0,72	19	29385
COSMO.RU-7	0,14	2,60	1,94	0,76	20	32513
Zn03**	-1,32	7,46	2,69	1,04	19	19723
Ry10*	0,66	2,34	1,74	0,69	17	23451

**Характеристики успешности прогнозов влажности воздуха ($td, ^\circ C$)
на 36 ч по ЕТП за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%>3	N
UKMO	0,48	3,99	2,82	0,82	33	32556
NCEP	-0,63	3,09	2,31	0,67	28	32142
JAPA	0,21	4,02	2,83	0,82	34	32808
PLAV	0,36	3,89	3,04	0,88	42	32556
Tros*	1,64	3,41	2,63	0,77	34	24134
Zari	0,13	2,82	2,13	0,61	25	30455
Ry20	1,85	3,56	2,73	0,80	36	28858
COSMO.RU-7	-0,34	3,10	2,33	0,67	28	31542
Zn03**	-0,36	8,27	3,45	1,00	32	17825
Ry10*	1,77	3,50	2,68	0,78	35	22962

**Характеристики успешности прогнозов влажности воздуха ($td, ^\circ C$) на 48 ч по ЕТП
за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%>3	N
UKMO	-2,49	4,45	3,23	0,99	39	33066
NCEP	-1,29	3,04	2,25	0,69	26	32641
JAPA	-0,83	3,70	2,57	0,78	29	33319
PLAV	-2,09	4,25	3,35	1,03	46	33066
Tros*	0,71	2,51	1,89	0,59	20	24589
Zari	0,04	2,44	1,82	0,55	18	30522
Ry20	1,21	2,82	2,16	0,67	25	29339
COSMO.RU-7	-0,28	2,86	2,14	0,65	24	32036
Zn03**	-1,44	8,75	3,25	1,01	25	15033
Ry10*	0,88	2,67	2,02	0,63	23	23388

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО
МЕТОДА ПРОГНОЗА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И ИНТЕНСИВНОСТИ
ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ
ТИХОГО ОКЕАНА С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ ДО 72 Ч
(ДВНИГМИ, автор – **В.П. Тунеголовец**)**

Комплексный метод прогноза перемещения и интенсивности тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана с заблаговременностью до 72 ч основан на использовании аналоговой модели ДВНИГМИ и проведении расчета прогноза на основе прогнозируемых параметров тайфунов, получаемых через Мировую сеть Интернет из ряда региональных метеорологических центров: RSMC (Regional Specialized Meteorological Center Tokyo Typhoon Center), JTWC (U.S. Naval Pacific Meteorology and Oceanography Center/Joint Typhoon Warning Center, Pearl Harbor, Hawaii), VHHN (Hong Kong Observatory), VABJ (Китайская метеорологическая администрация) и RKSL (Корейская метеорологическая организация).

Результаты оперативных испытаний комплексного метода прогноза перемещения и интенсивности тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана показали хорошую оправдываемость прогноза будущего положения, давления и максимального ветра в центрах тропических циклонов при заблаговременности до 72 ч включительно. Все показатели надежности метода превышают аналогичные показатели инерционных прогнозов.

Комплексный метод прогноза перемещения и интенсивности тропических циклонов (ТЦ) в северо-западной части Тихого океана с заблаговременностью до 72 ч разработан в ДВНИГМИ (автор – **В.П. Тунеголовец**) и предназначен для выпуска прогностической продукции с дискретностью 12 ч.

Схема единого прогноза тропических циклонов основана на использовании аналоговой модели ДВНИГМИ и проведении расчетов прогноза на основе прогнозируемых параметров ТЦ (тайфунов), получаемых через Мировую сеть Интернет из ряда региональных метеорологических центров: RSMC (Regional Specialized Meteorological Center Tokyo Typhoon Center), JTWC (U.S. Naval Pacific Meteorology and Oceanography Center/Joint Typhoon Warning Center, Pearl Harbor, Hawaii), VABJ (Китайская метеорологическая администрация), VHHN (Hong Kong Observatory) и RKSL (Корейская метеорологическая организация).

Единый прогноз параметров тропического циклона представляет собой средневзвешенное значение из шести прогнозов:

$$A_{\text{ЕДИННЫЙ}} = (P_{1a} \cdot K_{1a} \cdot A_{\text{RSMC}} + P_{2a} \cdot K_{2a} \cdot A_{\text{JTWC}} + P_{3a} \cdot K_{3a} \cdot A_{\text{ВАВJ}} + P_{4a} \cdot K_{4a} \cdot A_{\text{ДВНИГМИ}} + P_{5a} \cdot K_{5a} \cdot A_{\text{VННН}} + P_{6a} \cdot K_{6a} \cdot A_{\text{RKSL}}) / (P_{1a} \cdot K_{1a} + P_{2a} \cdot K_{2a} + P_{3a} \cdot K_{3a} + P_{4a} \cdot K_{4a} + P_{5a} \cdot K_{5a} + P_{6a} \cdot K_{6a}),$$

где $A_{\text{ЕДИННЫЙ}}$ – прогнозируемый параметр тропического циклона: широта, долгота, минимальное давление, максимальный ветер, радиус зоны ветров 30 узлов и более, радиус зоны ветров 50 узлов и более;

$A_{\text{ДВНИГМИ}}$, A_{RSMC} , A_{JTWC} , $A_{\text{ВАВJ}}$, $A_{\text{VННН}}$, A_{RKSL} – прогнозируемый параметр тайфуна от ДВНИГМИ, RSMC и других региональных метеорологических центров;

K_{1a} , K_{2a} , ... K_{6a} – весовой коэффициент прогнозируемого параметра тайфуна;

P_{1a} , P_{2a} , ... P_{6a} – коэффициент наличия прогнозируемого параметра тайфуна: $P=1$ при наличии прогноза параметра и $P=0$ при отсутствии прогноза параметра тайфуна.

Весовые коэффициенты определяются как отношение минимальной ошибки к средней ошибке прогноза от соответствующего центра: RSMC, JTWC, VННН, ВАВJ, RKSL и ДВНИГМИ. Определение весовых коэффициентов проведено по принципу оценки ошибки прогнозов для синхронной выборки дат прогнозов для участков траектории при нахождении тропического циклона отдельно к югу и к северу от 25 градусов северной широты [1, 2].

Оперативные испытания комплексного метода прогноза перемещения и интенсивности тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана проводились в отделе метеорологических прогнозов погоды Гидрометцентра Приморского УГМС в 2009 году, а расчет характеристик успешности прогнозов осуществлялся в ОМТЦ ДВНИГМИ по разработанным ЭВМ-программам (автор – В.П. Тунеголовец).

Всего за период испытаний в северо-западной части Тихого океана сформировалось 22 тропических циклона, что ниже нормы почти на 13 %. 11 тропических циклонов при этом вышли в умеренные широты, однако выход на территорию Приморского края отсутствовал, а на акваторию Японского моря вышел лишь циклон 0911. Тропический циклон 0908 развивался с 2 по 14 августа 2009 г., максимальной стадии развития достиг 7 августа. При этом давление в его центре составило 945 гПа, скорость ветра достигала 41 м/с. На акватории Японского моря циклон находился уже в стадии внетропического циклона с давлением в центре больше 998 гПа.

В соответствии с [3], для определения качества прогноза перемещения ТЦ вычислялись показатели, характеризующие ошибки прогноза положения центра ТЦ,

скорости и направления перемещения ТЦ.

Показатели успешности для ошибок положения центра ТЦ:

– абсолютные ошибки прогноза положения центра ТЦ Δr (расстояние между фактическим и прогностическим положениями центров в срок прогноза с точностью до 10 км): средняя и экстремальные (min, max);

– повторяемость Δr , %, рассчитывается по градациям ≤ 200 , 201–400, 401–600, >600 км;

– относительная ошибка ε прогноза положения ТЦ.

Показатели успешности для ошибок скорости перемещения ТЦ:

– абсолютная ошибка прогноза скорости перемещения ТЦ ΔS (вычисляется с точностью до 10 км): средняя и экстремальные (min, max);

– повторяемость ΔS , %, рассчитывается по градациям 0–250, 251–450, и >450 км/сут;

– средняя арифметическая (систематическая) ошибка скорости перемещения ТЦ $\Delta S_{\text{арифм.}}$;

– характеристика завышения или занижения прогностической скорости ТЦ по сравнению с фактической η_s .

Показатели успешности для ошибок направления перемещения ТЦ:

– ошибка прогноза направления перемещения $\Delta \varphi$, определяемая значением угла между фактической и прогностической траекториями ТЦ с точностью до 1° (в пределах от 0 до 180° вправо или влево): средняя и экстремальные (min, max);

– повторяемость $\Delta \varphi$, %, рассчитывается по градациям < 20 , 21–35, $> 35^\circ$. При этом отдельно рассматриваются случаи отклонения прогностической траектории от фактической вправо и влево.

Из всех перечисленных показателей успешности прогнозов перемещения ТЦ основными принято считать ошибки в прогнозе положения ТЦ (Δr).

Допустимые ошибки прогнозов перемещения тропических циклонов для заблаговременностей 24, 48 и 72 ч представлены в табл. 1.

Допустимые ошибки прогнозов перемещения тропических циклонов

	Δr , км	ΔS , км/сут	$\Delta \varphi$ °
Заблаговременность 24 ч			
Хороший	<200 км	<250	<20
Удовлетворительный	201–400	251–450	21–35
Неудовлетворительный	>400	>450	>35
Заблаговременность 48 ч			
Хороший	<350 км	<350	<30
Удовлетворительный	351–550	351–450	31–40
Неудовлетворительный	>550	>450	>40
Заблаговременность 72 ч			
Хороший	<500 км	<450	<30
Удовлетворительный	501–700	451–650	31–45
Неудовлетворительный	> 700	>650	>45

Для установления надежности методов прогноза эволюции ТЦ необходимо использовать статистические показатели успешности, предназначенные для оценки качества прогнозов интенсивности ТЦ: давления в центре ТЦ и максимального ветра.

Показатели успешности прогноза изменения давления в центре ТЦ:

– оценка прогноза знака изменения давления в центре ТЦ ρ_p . Значения $\rho_p \geq 0,5$ свидетельствуют об удовлетворительном, а $\rho_p \geq 0,7$ – о хорошем качестве прогноза знака изменения давления в ТЦ;

– абсолютная ошибка прогноза давления в ТЦ δ_p (с точностью до 0,1): средняя и экстремальные (min, max);

– относительная ошибка прогноза давления ε_p (с точностью до 0,01): средняя и экстремальные (min, max). Чем меньше ε_p , тем лучше качество прогноза;

– средняя фактическая изменчивость давления δ_φ в центре ТЦ, гПа;

– средняя арифметическая (систематическая) ошибка σ_p прогноза давления в центре ТЦ (с точностью до 0,1). Положительное (отрицательное) значение (σ_p) свидетельствует о систематическом завышении (занижении) давления в центре ТЦ.

Согласно рекомендаций [3], оценка оправдываемости прогноза максимального ветра в циклонах производится с использованием тех же характеристик, что и оценка оправдываемости прогноза давления в центре ТЦ. При этом в формулы вместо показателей давления подставляются показатели ветра. Дополнительно представлены сведения об оправдываемости прогноза максимального ветра P_V в соответствии с Наставлением [4].

Прогноз максимального ветра в тропическом циклоне оценивается на 100 %, когда фактическая скорость ветра отличается от крайних пределов прогностической скорости не более, чем на 20 %. Если отличие составляет более 20 %, оценка оправдываемости прогноза равна 0 %.

Когда скорость ветра в прогнозе предусматривалась менее, чем установлено по критерию ОЯ, а фактически она достигла градаций ОЯ, то допуск 20 %, указанный выше, не должен использоваться, оценка этого прогноза ветра равна 0 %.

Когда скорость ветра в прогнозе давалась в градации неблагоприятного явления для отрасли экономики (например 12–17 м/с – НЯ), то при оценке используется допуск 20 % только для максимального значения скорости (17 м/с).

Оценка оправдываемости прогнозов зон ветров с интенсивностью более 30 узлов (15 м/с) и более 50 узлов (25 м/с) в [3] не приводится, так как аналогов разработанным в настоящей работе прогнозам ранее в отечественной практике не существовало.

Согласно [3], испытание новых методов прогноза перемещения и эволюции ТЦ производится в сравнении с другими расчетными методами аналогичного прогноза, а также в сравнении с инерционными прогнозами. В основу инерционного прогноза берется гипотеза, согласно которой суммарный эффект всех сил, направляющих ТЦ в течение некоторого прошедшего периода, продолжает действовать в течение такого же будущего периода. В силу указанного предположения инерционный прогноз представляет собой линейную экстраполяцию движения ТЦ на последующий период времени. В зависимости от вида интерполяции различают инерционные прогнозы первого и второго порядка.

Инерционному прогнозу первого порядка присущи однородные (постоянные) скорость и направление перемещения ТЦ в течение прошедшего и будущего периодов. Инерционный прогноз второго порядка учитывает изменение (увеличение и уменьшение) скорости, а также изменение направление движения ТЦ в течение прошедшего периода и, соответственно этому, в будущем периоде.

Результаты оперативных испытаний прогнозов перемещения и эволюции тропических циклонов инерционным и комплексным методом в западной части Тихого океана за 2009 год при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25 градусов с. ш. и к северу от 25 градусов с. ш. для заблаговременности 24 ч представлены в табл. 2–6.

Анализ результатов, представленных в табл. 2 показал, что при любой заблаговременности прогнозов метод дает хороший результат. Средняя ошибка прогнозов положения центров тропических циклонов при заблаговременности прогнозов до 24 ч не превышает 111 км при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25 градусов с.ш. и 168 км при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25 градусов с.ш. При заблаговременности 48 ч – 196 и 246 км соответственно и при заблаговременности 72 ч – 300 и 433 км. Следует отметить, что при заблаговременности прогнозов до 48 ч в большинстве случаев ошибка прогноза положения не превышает 200 км (от 99 % при

заблаговременности 12 ч до 59 % при заблаговременности 48 ч при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25 градусов с.ш, а при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25 градусов с.ш. – от 92 % при заблаговременности 12 ч до 52 % при заблаговременности 48 ч). При большей заблаговременности возрастает число случаев, когда эта ошибка превышает 200 км и в среднем разница между прогностическим и фактическим положением тропических циклонов находится в интервале 201–400 км. Максимальное значение ошибки (1802 км) приходится на прогнозы с заблаговременностью до 60 ч при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25 градусов с. ш. и 3884 км для заблаговременности 72 ч при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25 градусов с. ш.

Анализ ошибок прогнозов скорости перемещения ТЦ (табл. 3) указывает на хорошее качество таких прогнозов. Так, при любой заблаговременности прогнозов в подавляющем большинстве случаев (96–99 % при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25 градусов с. ш. и 86–93 % при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25 градусов с. ш.) ошибка прогноза скорости перемещения тропических циклонов не превышает 250 км/сут. Средняя абсолютная ошибка прогноза уменьшается с увеличением заблаговременности, наибольшая при заблаговременности 12 ч (102 км/сут при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25 градусов с. ш. и 137 км/сут при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25 градусов с.ш.), что не превышает критерия и свидетельствует о хорошем качестве прогнозов. Значения средней арифметической ошибки скорости перемещения тропических циклонов колеблются от –45 до –25 км/сут при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25 градусов с. ш. и от –64 до 21 км/сут при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25 градусов с.ш. Знак ошибки свидетельствует о систематическом занижении в большинстве случаев рассчитанной скорости.

Погрешность определения направления смещения тропических циклонов (табл. 4) при любой заблаговременности прогнозов до 72 ч включительно в большинстве случаев (от 73 до 85 % при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25 градусов с. ш. и от 81 до 94 % при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25 градусов с. ш.) не превышает 25°. При этом в большинстве случаев повторяемость $\Delta\varphi \leq 25^\circ$ уменьшается с увеличением заблаговременности прогноза. Средний показатель угла отклонения прогностической траектории от фактической при любой заблаговременности прогнозов равен 8–30°. Чаще всего (от 50 до 65 % случаев) прогностические траектории отклоняются от фактических вправо при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25 градусов с. ш. и влево (от 42 до 59 %) при нахождении циклона на момент прогноза к югу

от 25 градусов с. ш.

Итак, **качество прогнозов положения тропических циклонов предложенным методом можно интерпретировать как хорошее при заблаговременности прогнозов до 72 ч включительно.** При этом показатели успешности несколько лучше для прогнозов тропических циклонов комплексным методом при нахождении циклона на момент прогноза **к северу от 25 градусов с. ш.** Следует отметить, что все показатели надежности прогнозов будущего положения тропических циклонов предложенным к испытанию методом превышают аналогичные показатели инерционных прогнозов.

Результаты оперативных испытаний метода прогноза давления в центре ТЦ представлены в табл. 5. Абсолютная ошибка прогнозов при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25 градусов с. ш. с увеличением заблаговременности растет от 5,8 до 17,8 гПа. Средняя арифметическая ошибка отрицательна для всех прогнозов, следовательно, имеет место занижение прогноза давления в центре ТЦ. Относительная ошибка метода с увеличением заблаговременности уменьшается от 0,85 до 0,68. При нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25 градусов с. ш. абсолютная ошибка прогноза давления в центре ТЦ с увеличением заблаговременности растет от 5,9 до 10 гПа. Средняя арифметическая ошибка также увеличивается от -0,6 (прогноз на 12 ч) до -7,2 гПа (прогноз на 72 ч), при этом давление в центре ТЦ систематически занижается. Относительная ошибка метода с увеличением заблаговременности уменьшается от 1,18 до 0,5.

Качество прогнозов максимального ветра в ТЦ (табл. 6) для комплексного метода характеризуют следующие показатели успешности: относительная ошибка уменьшается с увеличением заблаговременности. Средняя арифметическая ошибка прогнозов при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25 градусов с. ш. отрицательна для заблаговременности 12 и 24 ч, следовательно, имеет место занижение прогноза максимального ветра, а в более поздние сроки – его завышение. Средняя арифметическая ошибка при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25 градусов с. ш. с увеличением заблаговременности увеличивается от -0,3 (прогноз на 12 ч) до 2,3 м/с (прогноз на 72 ч), при этом максимальная скорость ветра в центре ТЦ в большинстве случаев завышается. Оправдываемость прогнозов максимальной скорости ветра при заблаговременности 12 ч высокая: 86–89 %, затем она понижается до 60–66% для заблаговременности 72 ч. Качество инерционных прогнозов интенсивности тропических циклонов по всем показателям успешности ниже качества методических прогнозов.

Итак, комплексный метод прогноза положения и интенсивности тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана при нахождении циклона на момент

прогноза к югу от 25 градусов с. ш., а также при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25 градусов с. ш. позволяет с большой вероятностью рассчитывать будущее положение и интенсивность тропических циклонов с заблаговременностью до 72 ч включительно и по всем показателям имеет преимущество перед инерционными прогнозами. Отмечается некоторое занижение прогностической скорости смещения ТЦ по сравнению с фактической. Направление смещения ТЦ прогнозируется хорошо, качество прогнозов практически не меняется с увеличением заблаговременности прогнозов, при этом преобладает повторяемость отклонения прогностических траекторий влево от фактических при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25 градусов с. ш. и вправо от фактических при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25 градусов с. ш. Оценка качества прогнозов интенсивности ТЦ достаточно высокая, в большинстве случаев имеет место занижение прогноза давления в центре ТЦ, а максимальная скорость ветра в центре ТЦ завышается.

Выводы

Качество прогноза положения и интенсивности тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана при заблаговременности прогнозов до 72 ч включительно на основе представленного комплексного метода при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25 градусов с. ш., а также при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25 градусов с.ш. за весь период испытаний (2008–2009 гг.) интерпретировано как хорошее.

Заслушав и обсудив отчет М.В. Сиротенко о результатах испытаний комплексного метода прогноза перемещения и интенсивности тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана с заблаговременностью до 72 ч (автор – В.П. Тунеголовец), Технический совет Гидрометцентра Приморского УГМС от 19 января 2010 г. отметил:

- оперативные испытания проведены в соответствии с принятыми требованиями;
- результаты оперативных испытаний комплексного метода прогноза перемещения и интенсивности тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана показали хорошую оправдываемость прогнозов положения, давления и максимального ветра в центре ТЦ при заблаговременности до 72 ч включительно;
- все показатели надежности метода превышают аналогичные показатели инерционных прогнозов.

Технический совет постановил:

- одобрить выполненную работу;

– рекомендовать использование комплексного метода прогноза перемещения и интенсивности тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана в оперативной практике отдела метеорологических прогнозов погоды Гидрометцентра Приморского УГМС.

Список литературы

1. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Вариант схемы отбора и оценки групповых аналогов на ЭВМ М-222 // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 1977. – Вып. 35. – С. 11–21.
2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Эстерле ГР. Схема адаптивного статистического прогноза с использованием группы аналогов // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 1976. – Вып. 13. – С. 5–25.
3. РД 52.27.284-91.Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов.
4. РД 52.88.629 -2002. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения.

Ошибки прогнозов положения тропических циклонов

Метод	Заблаговременность, ч	Число прогнозов	Повторяемость (%) значений Δr , км				$\Delta \bar{r}$, км	Экстремальные значения Δr , км		ε_r
			≤ 200	201–400	401–600	> 600		min	max	
Комплексный метод	при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25 градусов с. ш.									
	12	254	99	0	0	0	73	0	263	0,35
	24	254	90	9	0	0	111	10	496	0,27
	36	198	75	22	2	0	156	15	472	0,27
	48	185	59	34	4	1	196	21	884	0,26
	60	160	41	44	10	3	265	0	1802	0,29
	72	155	35	42	16	5	300	11	1053	0,28
	при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25 градусов с. ш.									
	12	165	92	4	0	3	97	10	849	0,36
	24	165	79	14	3	3	168	10	1803	0,30
	36	138	69	23	5	0	184	0	1741	0,23
	48	121	52	33	7	5	246	20	1971	0,23
	60	98	42	34	15	7	296	30	1335	0,23
	72	98	33	33	16	16	433	11	3884	0,27
Инерционные прогнозы 1 порядка	12	251	91	7	0	0	104	10	480	0,50
	24	251	58	34	6	1	207	11	995	0,51
	36	198	27	45	20	6	326	49	1434	0,56
	48	185	12	31	32	22	477	69	2013	0,64
	60	160	5	19	26	48	650	68	2610	0,71
	72	155	3	14	17	63	811	74	3130	0,76
Инерционные прогнозы 2 порядка	12	164	89	10	0	0	119	10	329	0,44
	24	164	34	45	14	5	284	30	1015	0,50
	36	138	17	30	23	28	473	59	1471	0,58
	48	121	7	17	25	49	699	46	1802	0,66
	60	98	4	7	17	71	922	15	2459	0,72
	72	98	3	5	5	86		24	3077	0,77

Ошибки прогнозов скорости перемещения тропических циклонов

Метод	Заблаговременность, ч	Число прогнозов	$\Delta S_{фр}$, км/сут	Повторяемость (%) значений ΔS , км/сут			ΔS , км/сут.	Экстремальные значения ΔS , км/сут		$\Delta S_{ариф}$, км/сут	η_s
				≤ 250	251–450	>450		min	max		
Комплексный метод	при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25 градусов с. ш.										
	12	254	421	96	3	0	102	0	459	-45	1,03
	24	254	410	97	2	0	82	0	434	-41	1,04
	36	198	385	97	2	0	70	0	303	-39	1,05
	48	185	371	99	0	0	63	1	256	-29	1,08
	60	160	365	96	3	0	68	0	350	-37	1,10
	72	155	354	96	3	0	64	0	302	-25	1,13
	при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25 градусов с. ш.										
	12	165	546	87	7	4	137	0	1258	21	1,20
	24	165	562	86	10	3	125	0	1098	8	0,99
	36	138	537	92	6	0	89	0	367	-34	0,96
	48	121	526	92	6	0	90	0	492	-40	0,93
	60	98	509	93	3	3	95	2	534	-64	0,92
	72	98	540	86	8	5	116	1	1110	-51	0,88
Инерционные прогнозы 1 порядка	12	412	462	83	13	3	137	0	632	-21	1,02
	24	412	462	82	13	3	150	1	982	-23	1,02
	36	334	447	80	15	3	158	0	941	-29	1,00
	48	304	432	79	16	3	168	0	858	-23	1,01
	60	257	420	76	19	3	175	2	757	-20	1,02
	72	252	427	72	21	5	190	1	796	-31	1,00
Инерционные прогнозы 2 порядка	12	143	434	65	27	6	206	1	726	74	1,01
	24	143	428	68	25	6	195	5	716	78	1,01
	36	109	440	68	24	6	183	1	727	65	0,99
	48	98	427	70	22	7	189	2	727	83	1,02
	60	86	408	70	22	5	199	7	759	102	1,03
	72	80	393	67	25	7	203	2	817	115	1,05

Ошибки прогнозов направления перемещения тропических циклонов

Метод	Заблаговременность, ч	Число прогнозов	Повторяемость (%) значений $\Delta\varphi^\circ$			Повторяемость (%) отклонения траектории $\Delta\varphi^\circ$		Ошибка угла отклонения $\Delta\varphi^\circ$			Экстремальные значения $\Delta\varphi^\circ$	
			≤ 25	25–35	> 35	вправо	влево	вправо	влево	все случаи	min	max
Комплексный метод	при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25 градусов с. ш.											
	12	254	70	14	12	57	42	16	22	19	0	281
	24	254	85	4	8	46	53	12	17	14	0	292
	36	198	80	7	11	43	56	11	35	22	0	316
	48	185	78	9	11	41	58	11	41	24	0	328
	60	160	73	10	15	40	59	12	56	30	0	328
	72	155	77	6	15	47	52	10	48	28	0	317
	при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25 градусов с. ш.											
	12	165	81	10	7	50	49	12	16	14	0	108
	24	165	89	6	4	60	40	8	13	11	0	121
	36	138	92	3	4	60	39	8	10	9	0	126
	48	121	94	1	3	61	38	6	11	9	0	133
	60	98	91	2	5	65	34	5	10	8	0	55
	72	98	90	3	4	63	36	8	10	9	0	71
Инерцион-ные прогнозы 1 порядка	12	412	60	16	20	54	45	23	27	25	0	284
	24	412	58	17	22	54	45	23	29	26	0	219
	36	334	52	19	26	57	42	26	33	30	0	232
	48	304	47	18	30	58	41	28	38	34	0	216
	60	257	45	17	36	61	38	31	42	38	0	220
	72	252	43	13	42	63	36	36	46	42	0	223
Инерцион-ные прогнозы 2 порядка	12	143	42	23	32	47	52	32	40	36	0	307
	24	143	46	17	34	52	47	35	35	35	0	176
	36	109	46	16	35	51	48	32	32	32	1	145
	48	98	40	19	39	61	38	41	29	34	0	140
	60	86	37	17	43	62	37	44	31	36	0	136
	72	80	42	21	36	60	40	40	34	36	1	129

Ошибки прогнозов давления в центрах тропических циклонов

Метод	Заблаговременность, ч	Число прогнозов	δ_p , гПа	σ_p , гПа	δ_ϕ , гПа	ε_p	Оценка знака изменения давления		Экстремальные значения δ_p , гПа		Экстремальные значения ε_p	
							ρ_p , гПа	%	min	max	min	max
Комплексный метод	при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25 градусов с. ш.											
	12	264	5,8	-0,6	6,8	0,85	0,27	63,6	0,0	39,0	0,00	3,00
	24	254	9,6	-0,5	12,9	0,75	0,39	69,7	0,0	52,0	0,00	5,00
	36	198	13,9	-0,7	18,5	0,75	0,65	82,3	0,0	60,0	0,00	6,40
	48	185	16,5	-1,6	22,7	0,73	0,70	84,9	0,0	64,0	0,00	7,50
	60	160	17,8	-2,9	25,6	0,69	0,74	86,9	1,0	63,0	0,03	5,50
	72	155	17,8	-5,1	26,4	0,68	0,73	86,5	0,0	60,0	0,00	7,60
	при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25 градусов с.ш.											
	12	168	5,9	-0,6	5,0	1,18	0,00	50,0	0,0	28,0	0,00	3,00
	24	164	8,3	-1,2	9,3	0,89	0,11	55,5	0,0	35,0	0,00	7,00
	36	138	9,2	-1,8	13,1	0,70	0,22	60,9	0,0	43,0	0,00	3,20
	48	121	9,3	-3,1	15,5	0,60	0,24	62,0	0,0	42,0	0,00	3,40
	60	98	9,6	-7,1	17,7	0,54	0,43	71,4	0,0	43,0	0,00	3,50
	72	98	10,0	-7,2	20,0	0,50	0,33	66,3	0,0	46,0	0,00	2,60
Инерционные прогнозы 1 порядка	12	261	6,4	-0,7	6,8	0,94	0,31	65,5	0,0	45,0	0,00	6,00
	24	251	13,4	-2,2	12,9	1,04	0,36	68,1	0,0	100,0	0,00	13,00
	36	198	20,5	-4,8	18,5	1,11	0,22	61,1	0,0	150,0	0,00	20,00
	48	185	29,2	-8,9	22,7	1,29	0,22	61,1	0,0	195,0	0,00	27,00
	60	160	36,6	-12,6	25,6	1,43	0,11	55,6	0,0	250,0	0,00	30,00
	72	155	45,2	-20,6	26,4	1,71	0,06	52,9	0,0	295,0	0,00	25,00
Инерционные прогнозы 2 порядка	12	167	5,4	-1,5	5,0	1,08	0,37	68,3	0,0	25,0	0,00	5,00
	24	164	11,2	-3,7	9,3	1,20	0,40	70,1	0,0	55,0	0,00	11,50
	36	138	17,1	-9,4	13,1	1,30	0,38	68,8	0,0	90,0	0,00	11,00
	48	121	24,5	-15,5	15,5	1,58	0,37	68,6	0,0	130,0	0,00	9,00
	60	98	33,8	-23,1	17,7	1,91	0,37	68,4	0,0	170,0	0,00	16,00
	72	98	41,4	-28,9	20,0	2,08	0,37	68,4	0,0	203,0	0,00	13,00

Таблица 6

Ошибки прогнозов максимальной скорости ветра в центрах тропических циклонов

Метод	Заблаговре- менность, ч	Число прогнозов	δ_v , м/с	σ_v , м/с	δ_ϕ , м/с	ϵ_v	Оценка знака изменения скорости ветра		Экстремальные значения δ_V , м/с		Экстремальные значения ϵ_v , м/с		Оправдываемость P_V , %, в соответствии с Наставлением [4]	
							ρ_v , м/с	%	min	max	min	max		
при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25 градусов с. ш.														
Комплексный метод	12	242	3,3	-0,5	3,5	0,94	0,18	59,1	0,0	14,8	0,00	3,92	85,7	
	24	239	5,2	-0,1	6,6	0,79	0,33	66,5	0,0	21,4	0,00	4,69	76,4	
	36	190	7,1	0,3	9,0	0,79	0,38	68,9	0,5	26,0	0,06	9,20	63,8	
	48	182	7,9	1,5	10,7	0,74	0,49	74,7	0,0	28,0	0,00	3,90	60,0	
	60	158	8,4	2,2	11,9	0,70	0,58	79,1	0,0	26,0	0,00	6,72	55,1	
	72	154	8,5	3,5	12,4	0,69	0,52	76,0	0,0	25,0	0,00	8,36	59,6	
	при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25 градусов с. ш.													
	12	163	3,8	-0,3	2,9	1,32	-0,09	45,4	0,0	24,0	0,00	4,48	89,1	
	24	160	4,9	0,8	4,9	1,01	0,05	52,5	0,0	21,9	0,00	6,32	81,0	
	36	134	5,5	0,8	5,9	0,93	-0,01	49,3	0,0	22,4	0,00	8,96	77,6	
	48	117	5,7	1,4	6,9	0,83	0,16	58,1	0,0	20,9	0,00	4,88	73,7	
	60	94	5,9	1,7	7,6	0,77	0,28	63,8	0,0	20,9	0,00	8,16	71,1	
72	94	6,0	2,3	9,5	0,63	0,15	57,4	0,0	21,9	0,00	3,92	65,5		
Инерционные прогнозы 1 порядка	12	261	3,5	0,4	3,5	0,99	0,40	70,1	0,0	17,9	0,00	4,08	85,7	
	24	251	7,0	1,2	6,7	1,05	0,39	69,3	0,0	38,2	0,00	7,16	76,4	
	36	198	10,8	3,2	8,9	1,21	0,22	61,1	0,0	58,6	0,00	29,60	63,8	
	48	185	15,2	6,1	10,7	1,41	0,26	63,2	0,0	76,5	0,00	23,48	60,0	
	60	160	18,7	8,1	11,9	1,57	0,16	58,1	0,0	96,9	0,00	30,42	55,1	
	72	155	22,7	12,0	12,4	1,83	0,14	56,8	0,0	114,7	0,00	29,60	59,6	
Инерционные прогнозы 2 порядка	12	167	3,5	0,8	3,0	1,18	0,50	74,9	0,0	48,4	0,00	11,20	89,2	
	24	164	6,3	2,4	5,0	1,25	0,48	73,8	0,0	68,8	0,00	11,00	73,2	
	36	138	9,3	4,7	6,0	1,54	0,35	67,4	0,0	89,2	0,00	6,97	55,8	
	48	121	13,3	7,2	7,1	1,89	0,37	68,6	0,0	114,8	0,00	13,28	37,2	
	60	98	16,9	8,7	7,8	2,16	0,41	70,4	0,0	127,5	0,00	21,44	29,6	
	72	98	20,6	12,2	9,6	2,14	0,49	74,5	0,0	150,4	0,09	11,84	28,6	

**О РЕЗУЛЬТАТАХ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ УСПЕШНОСТИ
ПРОГНОЗОВ ОСАДКОВ ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ ДО 5 СУТОК В
ПРИМОРСКОМ КРАЕ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ, РАЗРАБОТАННЫХ В
ГУ «ДВНИГМИ» (автор – Е.М. Вербицкая)
И В ГУ «ГИДРОМЕТЦЕНТР РОССИИ» (технология РЭП)**

Приведены результаты сравнения успешности прогнозов осадков заблаговременностью до 5 суток по восьми станциям Приморского края на основе методов, разработанных в ГУ «ДВНИГМИ» (автор – Е.М. Вербицкая) и в ГУ «Гидрометцентр России» (технология РЭП).

Анализ статистических показателей успешности прогнозов осадков показал, что в среднем для всех сроков успешность прогнозов осадков по технологии РЭП выше, чем по методу ДВНИГМИ, в среднем на 10 %.

Сравнение качества методических и оперативных синоптических прогнозов показало, что оправдываемость синоптических прогнозов по всем станциям Приморского края выше на 19–29 %.

Технический совет Гидрометцентра Приморского УГМС 13 мая 2009 года рекомендовал использование прогнозов осадков, поступающих из ГУ «Гидрометцентр России» и рассчитываемых на основе технологии РЭП, в оперативной практике Гидрометцентра Приморского УГМС в качестве вспомогательного материала.

Метод прогноза полусуточных сумм осадков в пункте на срок до 5 суток (на исторических архивах реанализов США) разработан в отделе гидрометеорологических прогнозов ГУ «ДВНИГМИ» (далее – метод ДВНИГМИ, автор – Е.М. Вербицкая). Метод проходил оперативные испытания в Отделе метеорологических прогнозов погоды Гидрометцентра Приморского УГМС с 1 января 2004 по 31 декабря 2006 года. Решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 21 марта 2008 года Приморскому УГМС разрешено опытное использование прогнозов полусуточных сумм осадков в пунктах на срок до 3 суток в качестве консультативного материала и поручено провести сравнение их успешности с успешностью прогнозов осадков заблаговременностью до 5 суток на основе оперативной технологии РЭП (ГУ «Гидрометцентр России», авторы – П.П. Васильев, Е.Л. Васильева).

Методика сравнения

С июля 2008 по апрель 2009 года в Гидрометцентре Приморского УГМС проведена сравнительная оценка успешности прогнозов осадков по методу ДВНИГМИ и на основе оперативной технологии РЭП. Для сравнительного анализа методов были выбраны восемь пунктов Приморского края, расположенных в различных физико-географических районах.

Для установления успешности прогнозов рассчитывались, согласно Наставлению [1], общая оправдываемость прогноза осадков P , %; и, согласно Методическим указаниям [2], следующие статистические показатели:

- оправдываемость альтернативного прогноза факта выпадения осадков U , %:

$$U = \frac{n11 + n22}{N} \cdot 100,$$

где $n11$ – число оправдавшихся прогнозов факта наличия осадков; $n22$ – число оправдавшихся прогнозов отсутствия осадков; N – общее число прогнозов;

- оправдываемость прогноза факта отсутствия осадков $U_{\bar{o.c}}$, %:

$$U_{\bar{o.c}} = \frac{n22}{n20} \cdot 100,$$

где $n20$ – число прогнозов отсутствия осадков;

- оправдываемость прогноза наличия осадков $U_{o.c}$, %:

$$U_{o.c} = \frac{n11}{n10} \cdot 100,$$

где $n10$ – число прогнозов наличия осадков;

- предупреденность факта отсутствия осадков $\check{I}_{\bar{o.c}}$, %:

$$\check{I}_{\bar{o.c}} = \frac{n22}{n02} \cdot 100,$$

где $n02$ – число случаев без осадков;

- предупреденность факта наличия осадков $\check{I}_{o.c}$, %:

$$\check{I}_{o.c} = \frac{n11}{n01} \cdot 100,$$

где $n01$ – число случаев с осадками;

- критерий качества Пирси-Обухова:

$$T = n11/n01 - n12/n02 = n22/n02 - n21/n01,$$

где $n12$ – число неоправдавшихся прогнозов факта осадков; $n21$ – число неоправдавшихся прогнозов отсутствия осадков. T принимает значения от $-1,0$ до $1,0$. Для идеального прогноза $T=1,0$;

– средняя абсолютная ошибка прогноза количества осадков E :

$$E = \frac{I}{N} \sum_{i=1}^N |Q_{oi} - Q_{ii}|,$$

где Q_{oi} и Q_{ii} – фактическое и прогностическое количество осадков в пункте прогноза соответственно;

– средняя арифметическая (систематическая) ошибка прогноза количества осадков E_{ap}

:

$$A_{\dot{a}\dot{o}} = \frac{I}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{oi} - Q_{ii}).$$

Результаты сравнительной оценки

В табл. 1 представлены средние за весь период испытания показатели успешности прогнозов осадков заблаговременностью 24, 48, 72, 96 и 120 ч по пунктам Приморского края.

Сравнение показателей успешности прогнозов осадков показало, что в среднем для всех сроков успешность прогнозов осадков по технологии РЭП выше, чем по методу ДВНИГМИ.

Средняя общая оправдываемость прогнозов осадков по технологии РЭП на 1-е сутки составляет 75 %, по методу ДВНИГМИ – 65 %; на 2-е сутки – 76 и 66 % соответственно. На 3-и и 4-е сутки средняя общая оправдываемость осадков по технологии РЭП составила 74 %, по методу ДВНИГМИ – 65 и 66 % соответственно, на 5-е сутки – 63 и 70 %. Полученные результаты указывают на то, что общая оправдываемость прогнозов осадков по технологии РЭП выше оправдываемости прогнозов осадков по методу ДВНИГМИ в среднем на 10 %. При этом оправдываемость прогнозов осадков на каждые последующие сутки изменяется незначительно (на 1–2 %). Оправдываемость прогноза факта наличия осадков для рассматриваемых методов ниже общей оправдываемости в среднем на 1–7 %.

Оправдываемость прогноза факта отсутствия осадков для двух методов выше оправдываемости прогноза наличия осадков, т. е. оба метода лучше работают в случае прогноза отсутствия осадков. При этом оправдываемость прогнозов на основе технологии РЭП выше оправдываемости аналогичных прогнозов по методу ДВНИГМИ в среднем на 10–20 %.

Предупрежденность случаев с осадками по технологии РЭП в среднем составляет 85 % при заблаговременности 24 ч и 75 % при заблаговременности 120 ч, а предупрежденность случаев без осадков – 68–70 %. Метод ДВНИГМИ, наоборот, отсутствие осадков предупреждает в 73–78 % случаев, наличие осадков – только в 34–36 %

случаев.

Прогнозы осадков на основе технологии РЭП заблаговременностью до 96 ч характеризовали критерии качества Пирси-Обухова величиной 0,5 и при заблаговременности 120 ч – величиной 0,4, что свидетельствует о практической значимости этих прогнозов. Прогнозы осадков по методу ГУ «ДВНИГМИ» имели критерий качества Пирси-Обухова величиной 0,1.

Средняя абсолютная ошибка прогнозов количества осадков у метода ДВНИГМИ в среднем составляет 2,6 мм, что превышает ошибку прогноза осадков по технологии РЭП на 0,7 мм.

Средняя арифметическая ошибка прогнозов количества осадков по технологии РЭП в среднем составляла 1 мм, а по методу ДВНИГМИ – 0,4 мм. Данный показатель говорит о том, что оба метода систематически завышают количество прогнозируемых осадков.

В табл. 2 представлена общая оправдываемость методических прогнозов осадков заблаговременностью 24 ч по станциям Приморского края в сравнении с синоптическими прогнозами. Сравнение показало, что оправдываемость синоптических прогнозов по всем пунктам Приморского края выше оправдываемости методических прогнозов в среднем на 19–29 %. Следует отметить, что успешность методических прогнозов в различных физико-географических районах Приморского края неодинакова. Оправдываемость прогнозов осадков по технологии РЭП в прибрежных (Владивосток, Сад-город, Терней, Золотой) и равнинных (Пограничный) районах несколько выше, чем в горных районах (Анучино) и предгорьях (Дальнереченск, Кировский). Прогнозы осадков по методу ДВНИГМИ лучше оправдываются в пунктах, расположенных на южном побережье (Владивосток, Сад-город), в горных и равнинных районах.

Таблица 2

Оправдываемость P (%) методических и синоптических прогнозов осадков заблаговременностью 24 ч по пунктам Приморского края

Пункт	Методические прогнозы		Синоптические прогнозы
	РЭП	ДВНИГМИ	
Анучино	71	67	93
Владивосток	84	67	93
Сад-город	76	66	94
Пограничный	77	75	97
Дальнереченск	66	57	96
Кировский	72	64	95
Золотой	79	63	94
Терней	75	62	91
<i>Среднее</i>	75	65	94

Выводы

1. По восьми пунктам Приморского края общая оправдываемость прогнозов осадков по технологии РЭП выше оправдываемости прогнозов осадков по методу ДВНИГМИ в среднем на 10 %.

2. Средняя оправдываемость прогнозов осадков на 24 ч по технологии РЭП составляет 75 %, по методу ДВНИГМИ – 65 %.

3. Общая оправдываемость прогнозов осадков на каждую последующую заблаговременность изменяется незначительно (на 1–2 %).

4. У обоих методов оправдываемость прогнозов факта отсутствия осадков выше оправдываемости прогнозов наличия осадков, т.е. оба метода лучше работают в случае прогноза отсутствия осадков.

5 Оправдываемость прогнозов, составленных синоптическим методом, по восьми станциям Приморского края выше оправдываемости методических прогнозов в среднем на 19–29 %.

6. Качество прогнозов в целом за период испытаний можно считать удовлетворительным, преимущественно у метода прогноза на основе технологии РЭП.

Рекомендации о внедрении

Технический совет Гидрометцентра Приморского УГМС в своем решении от 13 мая 2009 года одобрил проведенную работу и рекомендовал использование прогнозов осадков на основе технологии РЭП, поступающих из Гидрометцентра России, в оперативной практике Отдела метеорологических прогнозов Гидрометцентра Приморского УГМС в качестве вспомогательных при прогнозе осадков по станциям Приморского края.

Список литературы

1. РД 52.88.629–2002. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения.
2. РД 52.27.284–91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиографических прогнозов.

Таблица 1

Сравнительная оценка успешности прогнозов осадков заблаговременностью до 120 ч по восьми пунктам Приморского края

Показатель успешности прогноза	Анучино		Владивосток		Сад-город		Пограничный		Дальнереченск		Кировский		Золотой		Терней		Среднее	
	РЭП	ДВНИГМИ	РЭП	ДВНИГМИ	РЭП	ДВНИГМИ	РЭП	ДВНИГМИ	РЭП	ДВНИГМИ	РЭП	ДВНИГМИ	РЭП	ДВНИГМИ	РЭП	ДВНИГМИ	РЭП	ДВНИГМИ
Заблаговременность 24 ч																		
<i>P</i>	71	67	84	67	76	66	77	75	66	57	72	64	79	63	75	62	75	65
<i>U</i>	55	60	71	70	70	70	71	74	68	51	64	60	76	62	74	75	68	65
<i>U_{б.ос}</i>	87	76	94	79	90	81	95	82	90	62	86	68	97	73	94	74	91	74
<i>U_{ос}</i>	38	32	39	38	49	30	34	40	51	33	50	38	54	31	51	28	46	34
<i>П_{б.ос}</i>	44	66	72	83	65	80	70	85	58	62	51	66	69	74	68	75	62	74
<i>П_{ос}</i>	84	43	78	50	81	31	80	35	86	32	86	40	94	30	88	26	85	36
<i>T</i>	0,5	0,1	0,5	0,3	0,5	0,1	0,5	0,2	0,4	0,1	0,4	0,1	0,6	0,1	0,6	0,1	0,5	0,1
<i>E</i>	1,1	0,7	1,2	0,7	2,3	0,5	1,3	0,9	1,7	2,2	1,5	2,2	2,6	7,8	1,6	8,2	1,7	2,9
<i>E_{ар}</i>	1,1	0,3	0,4	-0,1	0,4	0,1	1,3	0,7	1,1	-0,2	0,6	-0,4	1,4	3,6	0,4	4,8	0,8	1,1
Заблаговременность 48 ч																		
<i>P</i>	73	64	78	66	78	67	75	79	68	59	74	61	79	66	79	63	76	66
<i>U</i>	63	63	75	66	68	68	75	75	71	54	69	53	77	56	74	78	72	64
<i>U_{б.ос}</i>	88	80	94	79	92	80	98	83	92	68	91	63	93	67	93	72	93	74
<i>U_{ос}</i>	45	33	48	33	44	29	38	27	54	32	55	34	57	21	54	28	49	30
<i>П_{б.ос}</i>	55	68	73	74	63	79	71	87	61	62	56	64	72	74	68	78	65	73
<i>П_{ос}</i>	85	49	83	40	83	31	92	21	89	38	91	33	88	16	88	22	87	31
<i>T</i>	0,4	0,2	0,6	0,1	0,5	0,1	0,4	0,1	0,5	-0,1	0,5	0,1	0,6	-0,1	0,6	0,0	0,5	0,1
<i>E</i>	2,8	0,6	0,6	1,3	0,8	1,1	1,7	0,9	1,6	2,6	1,8	3,1	1,4	5,2	1,9	5,5	1,6	2,5
<i>E_{ар}</i>	2,8	0,1	0,3	-0,6	0,6	-0,1	1,6	0,5	1,3	-0,2	1,2	0,2	0,2	1,3	1,2	1,2	1,2	0,2

Заблаговременность 72 ч																		
<i>P</i>	73	66	78	68	80	68	73	76	66	58	72	62	77	63	75	62	74	65
<i>U</i>	65	62	74	71	74	67	73	68	67	52	69	55	75	59	70	82	71	65
<i>U_{б.ос}</i>	91	81	96	83	92	82	97	79	92	64	92	64	90	68	91	72	93	74
<i>U_{ос}</i>	45	27	44	39	53	29	37	21	49	30	52	37	56	31	46	39	48	32
<i>Π_{б.ос}</i>	56	68	71	78	70	75	70	82	58	64	57	68	72	74	66	82	65	74
<i>Π_{ос}</i>	86	42	88	47	84	37	88	19	88	30	91	33	81	25	82	27	86	33
<i>T</i>	0,4	0,1	0,6	0,3	0,5	0,1	0,6	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1
<i>E</i>	4,7	0,7	0,9	1,0	1,2	1,2	2,0	1,2	2,4	2,5	2,1	2,9	2,1	4,5	1,9	5,7	1,8	2,5
<i>E_{ар}</i>	4,7	0,1	0,7	-0,2	0,6	-0,1	1,9	0,3	2,0	-0,3	1,5	0,1	1,3	0,4	0,5	0,5	1,7	0,1
Заблаговременность 96 ч																		
<i>P</i>	70	68	76	70	79	69	75	71	64	60	72	60	76	63	77	67	74	66
<i>U</i>	63	61	75	68	72	67	67	70	63	61	66	53	76	64	75	80	70	66
<i>U_{б.ос}</i>	87	79	95	84	93	82	97	82	90	75	91	64	92	77	91	75	92	77
<i>U_{ос}</i>	45	25	50	35	45	20	29	20	43	36	49	32	54	30	53	38	44	30
<i>Π_{б.ос}</i>	55	69	72	74	68	76	64	81	54	68	55	61	73	75	72	80	64	73
<i>Π_{ос}</i>	82	35	87	50	85	27	86	21	86	45	89	36	83	32	81	32	85	35
<i>T</i>	0,4	0,1	0,6	0,2	0,5	0,1	0,5	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1	0,6	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1
<i>E</i>	2,2	0,8	1,3	1,4	2,1	1,2	2,4	0,9	1,8	2,6	1,9	3,0	4,3	6,1	2,1	4,6	2,2	2,6
<i>E_{ар}</i>	2,0	0,1	0,8	-0,4	0,9	-1,0	2,3	0,5	0,9	-0,2	1,0	0,7	-1,1	1,5	0,7	2,2	0,9	0,4
Заблаговременность 120 ч																		
<i>P</i>	73	73	73	71	76	69	70	75	59	67	69	61	74	70	70	72	63	70
<i>U</i>	63	58	74	73	71	68	61	72	63	61	62	58	69	68	69	83	67	87
<i>U_{б.ос}</i>	88	79	91	84	88	79	94	77	86	72	88	71	85	77	86	80	88	77
<i>U_{ос}</i>	38	39	40	46	47	29	27	25	44	36	43	33	43	38	45	37	41	35
<i>Π_{б.ос}</i>	54	72	75	80	70	80	59	89	56	71	53	66	70	81	70	83	63	78
<i>Π_{ос}</i>	80	42	70	53	75	26	76	12	80	37	83	38	65	32	68	33	75	34
<i>T</i>	0,3	0,1	0,5	0,3	0,5	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4	0,2	0,4	0,1
<i>E</i>	2,3	0,7	1,6	1,0	2,6	1,2	2,3	0,5	2,5	2,5	2,6	2,3	2,0	6,5	2,5	4,8	2,2	2,7
<i>E_{ар}</i>	2,3	0,1	1,3	-0,5	1,1	-1,1	2,1	-0,3	2,0	-0,2	1,7	-0,5	0,8	1,3	1,0	1,0	1,5	0,1

**О РЕЗУЛЬТАТАХ ОПЫТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МЕТОДА ПРОГНОЗА ПОЛУСУТОЧНЫХ СУММ ОСАДКОВ
НА СРОК ДО ПЯТИ СУТОК В ПУНКТАХ НА ТЕРРИТОРИИ
ЗАБАЙКАЛЬЯ (автор – Е.М. Вербицкая)**

Метод и технология прогноза полусуточных сумм осадков на срок до пяти суток, разработанные в ДВНИГМИ, предусматривают прогноз осадков ночью и днем заблаговременностью от 24 до 120 ч (1–5 суток) по 12 пунктам Забайкалья.

Сравнительный анализ успешности прогнозов осадков по пунктам Чита и Улан-Удэ показал высокое качество синоптических суточных прогнозов, удовлетворительное качество прогнозов полусуточных сумм осадков на срок до пяти суток по методу ДВНИГМИ и более значимое качество прогнозов осадков по оперативной технологии РЭП.

В целом, учитывая имеющееся преимущество метода ДВНИГМИ, которое заключается в его полной автоматизации и, как следствие, в экономии рабочего времени, большой заблаговременности прогнозов (1–5 суток), а также в том, что прогноз составляется для 12 пунктов Забайкалья, целесообразно использовать его в качестве консультативного материала. Продолжить дальнейшее использование в оперативной практике прогнозы осадков по оперативной технологии РЭП (автор – П.П. Васильев, Е.Л. Васильева) в качестве вспомогательного метода.

В период с мая 2008 по апрель 2009 года в отделе метеорологических прогнозов Читинского ЦГМС-Р по решению ЦМКП от 21 марта 2008 года проводилось опытное использование метода прогноза полусуточных сумм осадков на срок до пяти суток, разработанного в отделе гидрометеорологических прогнозов ДВНИГМИ (далее – метод ДВНИГМИ, автор – Е.М. Вербицкая).

Целью опытного использования было проведение сравнительного анализа качества прогнозов осадков по методу ДВНИГМИ, прогнозов на основе оперативной технологии РЭП (Гидрометцентр России, авторы – П.П. Васильев, Е.Л. Васильева) и по оперативной гидродинамической модели Гидрометцентра России (Т85L31), а также оперативных синоптических прогнозов.

Ввиду того, что прогнозы осадков по модели Т85L31 в Читинский ЦГМС-Р не поступали, сравнение проводился только с методическими прогнозами осадков по оперативной технологии РЭП.

Метод и технология прогноза полусуточных сумм осадков на срок до пяти суток ДВНИГМИ предусматривает прогноз осадков ночью и днем заблаговременностью от 24 до 120 ч (1–5 суток) по 12 пунктам Забайкалья. Расчеты производились ежедневно с помощью программного средства, за исключением (по техническим причинам) периода декабрь 2008–февраль 2009 г.

Сравнительная оценка качества прогнозов проводилась с использованием общепринятых характеристик успешности в соответствии с рекомендациями Методических указаний [1] и Наставления [2].

Результаты опытного использования

Показатели успешности прогнозов по проверяемому методу представлены в табл. 1. В целях сравнения с технологией РЭП для анализа было выбрано только суточное количество осадков. Средняя оправдываемость прогнозов осадков по пунктам составила от 45 до 70 %, наиболее низкая оправдываемость (45–53 %) отмечена в Чаре, наиболее высокая (64–70 %) – в Кяхте. Оправдываемость прогнозов отсутствия осадков составила 55–79 %, что на 22–44 % выше оправдываемости прогнозов наличия осадков (11–57 %). Предупрежденность осадков составила 26–56 %, что на 20–25 % ниже предупрежденности без осадков (46–81%). При этом в пункте Кяхта предупрежденность случаев с осадками оказалась очень низкой (2–8 %), а предупрежденность случаев без осадков – высокой (90–97 %). Абсолютная ошибка прогноза количества осадков находилась в пределах 1,5–3,6 мм/24 ч. Величина критерия качества Пирси-Обухова изменялась в пределах от –0,43 до 0,21.

Сравнение методических прогнозов осадков, рассчитанных по методу ДВНИГМИ и на основе технологии РЭП, проводилось для заблаговременностей от 48 до 120 ч. Успешность методических прогнозов осадков ДВНИГМИ при заблаговременности 48–96 ч уступает успешности аналогичных прогнозов по технологии РЭП от исходного срока 12 ч ВСВ почти по всем характеристикам успешности, кроме предупрежденности осадков. Методические прогнозы осадков ДВНИГМИ характеризовали следующие показатели успешности: общая оправдываемость прогнозов по Наставлению – 70–74 %, оправдываемость прогнозов по факту выпадения осадков – 60–63 %. Предупрежденность случаев с осадками – 47–49 %, предупрежденность случаев без осадков – 64–66 %. Аналогичные характеристики успешности прогнозов по технологии РЭП составили соответственно 77–79 %, 66–67 %, 73–77 %, 63–64 %. Абсолютная ошибка прогноза количества осадков методических прогнозов ДВНИГМИ (2,2–2,9 мм/24 ч) оказалась больше, чем у технологии РЭП (1,1–1,7 мм/24 ч).

Сравнительный анализ успешности прогнозов осадков по г. Чита показал высокое качество синоптических суточных прогнозов, удовлетворительное качество прогнозов полусуточных сумм осадков на срок до пяти суток по методу ДВНИГМИ и более значимое качество прогнозов осадков по оперативной технологии РЭП.

Характеристики успешности прогнозов осадков с заблаговременностью 24 ч по г. Чита (табл. 2) свидетельствуют о том, что в рассматриваемый период оперативные синоптические прогнозы осадков имели преимущество перед методическими прогнозами по всем представленным показателям. Общая оправдываемость прогнозов осадков по Наставлению [2] составила 89 %, оправдываемость по факту выпадения осадков – 88 %, предупрежденность случаев с осадками – 97 %, предупрежденность случаев без осадков – 76 %. При этом величина критерия качества Пирси-Обухова высокая (0,71), а средняя абсолютная ошибка прогноза количества осадков составляет 1,5 мм/24 ч.

В табл. 3 приведены показатели успешности методических и синоптических прогнозов осадков с заблаговременностью 24 ч по г. Улан-Удэ. Характеристики успешности синоптических прогнозов по всем показателям выше методических, о чем говорит высокий критерий качества Пирси-Обухова, равный 0,66.

По г. Улан-Удэ, в отличие от г. Чита, большинство характеристик качества прогнозов по испытываемому методу показывают их преимущество перед прогнозами по оперативной технологии РЭП, за исключением предупрежденности случаев с осадками: 71–83 % по технологии РЭП и 42–46 % по методу ДВНИГМИ. Почти по всем показателям метод прогноза полусуточных сумм осадков ДВНИГМИ имеет более высокую оправдываемость прогнозов, чем по технологии РЭП. Поэтому целесообразно рекомендовать внедрить данный метод в оперативную практику Бурятского ЦГМС в качестве вспомогательного метода.

В целом, учитывая преимущества метода ДВНИГМИ: полная автоматизация и, как следствие, экономия рабочего времени, большая заблаговременность прогнозов (1–5 суток), а также то, что прогноз составляется для 12 пунктов Забайкалья, рекомендовано использовать его в качестве консультативного материала. Продолжить дальнейшее использование в оперативной практике прогнозов осадков по оперативной технологии РЭП (авторы – П.П. Васильев, Е.Л. Васильева) в качестве вспомогательного метода.

На основании полученных результатов сравнения Технический совет Забайкальского УГМС в своем решении от 25 мая 2009 г. рекомендовал:

- использовать в оперативной работе Читинского ЦГМС-Р метод прогноза

полусуточных сумм осадков на срок до пяти суток (автор – Е.М.Вербицкая) на территории Забайкальского края в качестве консультативного материала;

– внедрить в оперативную практику Бурятского ЦГМС метод прогноза сумм осадков на срок до пяти суток (автор – Е.М. Вербицкая) и использовать его на территории Республики Бурятия в качестве вспомогательного.

Список литературы

1. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов.
2. РД 52.88.629-2002. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения.

Таблица 1

Показатели успешности прогнозов по методу ДВНИГМИ полусуточных сумм осадков на срок до пяти суток по 12 пунктам территории ответственности Забайкальского УГМС

Заблаговременность, ч	Пункты	Общая оправдываемость, %	Оправдываемость прогнозов наличия осадков, %	Оправдываемость прогнозов отсутствия осадков, %	Предупрежденность случаев с осадками, %	Предупрежденность случаев без осадков, %	Критерий Пирси-Обухова	Абсолютная ошибка, мм/24 ч	Количество прогнозов
24	Чита	65	57	62	38	61	0,17	2,5	247
	Агинское	64	47	66	41	70	0,11	2,6	238
	Чара	49	36	57	44	46	-0,06	3,0	240
	Могоча	56	48	61	43	60	0,03	3,6	240
	Нерчинск	64	36	78	46	65	0,02	2,6	240
	Борзя	56	28	69	31	62	-0,06	2,5	240
	Приаргунск	55	38	66	28	67	-0,43	2,9	240
	Красный Чикой	64	35	67	33	75	0,08	2,2	240
	Багдарш	61	41	65	44	64	0,19	3,5	240
	Усть-Баргузин	53	33	56	45	52	-0,03	2,6	240
	Улан-Удэ	56	40	60	43	62	0,05	2,2	241
Кяхта	67	30	69	8	93	-0,0	2,2	240	
48	Чита	63	52	62	49	66	0,15	2,7	248
	Агинское	59	38	64	33	67	0,0	2,5	239
	Чара	51	38	62	56	40	0,03	2,8	239
	Могоча	53	47	57	37	57	-0,06	3,6	239
	Нерчинск	61	33	77	49	65	0,08	2,7	239
	Борзя	54	28	68	28	60	-0,13	2,3	239
	Приаргунск	61	41	71	37	71	0,09	2,9	239
	Красный Чикой	58	31	65	33	67	-0,12	2,3	239
	Багдарш	58	45	71	45	61	0,17	3,4	239
	Усть-Баргузин	59	47	66	46	66	0,12	2,5	239

	Улан-Удэ	56	44	55	46	58	0,05	2,2	239
	Кяхта	66	11	69	2	93	-0,05	1,8	239
72	Чита	65	49	68	47	66	0,13	2,8	248
	Агинское	60	38	64	36	63	-0,01	2,7	239
	Чара	45	33	60	42	42	-0,05	2,7	239
	Могоча	56	42	59	39	59	-0,02	3,4	239
	Нерчинск	58	28	76	43	59	0,13	2,9	239
	Борзя	62	30	74	28	64	0,07	2,3	239
	Приаргунск	58	32	72	38	68	0,17	3,3	238
	Красный Чикой	55	35	63	34	64	-0,21	2,2	238
	Багдарш	57	41	67	36	64	0,10	3,4	239
	Усть-Баргузин	58	42	68	41	69	-0,11	2,2	237
	Улан-Удэ	52	42	57	43	57	-0,01	2,3	239
Кяхта	64	13	69	3	90	-0,07	1,6	239	
96	Чита	60	45	63	47	64	0,12	2,9	248
	Агинское	59	33	63	33	64	-0,03	2,4	235
	Чара	49	29	60	37	48	0,01	2,9	235
	Могоча	60	40	63	44	57	-0,0	3,1	235
	Нерчинск	61	29	79	47	64	0,19	2,8	235
	Борзя	56	24	73	31	60	0,03	2,6	235
	Приаргунск	61	30	69	34	64	0,09	3,4	234
	Красный Чикой	59	29	64	32	66	-0,02	2,3	234
	Багдарш	56	42	68	45	57	0,13	3,5	235
	Усть-Баргузин	50	29	55	37	52	-0,11	2,2	235
	Улан-Удэ	52	42	60	42	59	0,01	2,3	235
Кяхта	70	33	71	6	95	0,11	1,6	235	
120	Чита	67	45	66	32	78	0,11	2,2	248
	Агинское	65	41	62	28	74	0,02	2,5	235
	Чара	53	41	68	45	52	-0,04	2,5	235
	Могоча	64	42	68	42	63	0,17	3,0	235
	Нерчинск	61	25	75	33	63	0,06	2,1	235
	Борзя	67	33	76	33	69	0,13	2,6	235
	Приаргунск	66	40	73	30	76	0,16	2,6	234
	Красный Чикой	65	39	65	26	81	0,07	2,1	234
	Багдарш	63	52	69	39	67	0,17	3,3	235
	Усть-Баргузин	54	39	62	33	64	-0,03	2,4	235
	Улан-Удэ	57	53	55	46	59	0,09	2,1	235
	Кяхта	69	19	71	3	97	-0,0	1,5	235

Показатели успешности методических и синоптических прогнозов осадков

по г. Чита

Заблаговременность, ч	Прогноз	Оправдываемость прогнозов по Наставлению, %	Оправдываемость прогнозов по факту наличия/отсутствия осадков, %	Предупрежденность случаев с осадками, %	Предупрежденность случаев без осадков, %	Критерий Пирси-Обухова	Абсолютная ошибка, мм/24 ч	Количество прогнозов
24	синоптический	89	88	97	76	0,71	1,5	365
	метод ДВНИГМИ	75	65	38	61	0,17	2,5	247
48	метод ДВНИГМИ	74	63	49	66	0,15	2,7	248
	технология РЭП (от 12 ч ВСВ)	78	67	77	63	0,41	1,1	365
	технология РЭП (от 00 ч ВСВ)	69	61	68	58	0,23	1,5	365
72	метод ДВНИГМИ	74	65	47	66	0,13	2,8	248
	технология РЭП (от 12 ч ВСВ)	79	67	77	64	0,40	1,2	365
	технология РЭП (от 00 ч ВСВ)	70	64	66	62	0,28	1,5	365
96	метод ДВНИГМИ	70	60	47	64	0,12	2,9	248
	технология РЭП (от 12 ч ВСВ)	77	66	73	63	0,37	1,3	365
	технология РЭП (от 00 ч ВСВ)	69	59	62	59	0,2	1,5	365
120	метод ДВНИГМИ	81	67	32	78	0,11	2,2	248
	технология РЭП (от 12 ч ВСВ)	75	62	64	62	0,26	1,4	365
	технология РЭП (от 00 ч ВСВ)	68	59	65	54	0,22	1,5	365
144	технология РЭП (от 12 ч ВСВ)	72	61	69	55	0,24	1,7	365
	технология РЭП (от 00 ч ВСВ)	69	59	58	59	0,17	1,5	365

Показатели успешности методических и синоптических прогнозов осадков

по г. Улан-Удэ

Заблаговременность, ч	Прогноз	Оправдываемость прогнозов по Наставлению, %	Оправдываемость прогнозов по факту наличия/отсутствия осадков, %	Предупрежденность случаев с осадками, %	Предупрежденность случаев без осадков, %	Критерий Пирси-Обухова	Количество прогнозов
24	синоптический	89	49	76	88	0,66	272
	метод ДВНИГМИ	59	40	43	62	0,05	241
48	метод ДВНИГМИ	71	44	46	58	0,05	239
	технология РЭП (от 12 ч ВСВ)	58	35	73	47	0,23	365
72	метод ДВНИГМИ	70	42	43	57	-0,01	239
	технология РЭП (от 12 ч ВСВ)	60	34	76	49	0,28	365
96	метод ДВНИГМИ	68	42	42	59	0,01	237
	технология РЭП (от 12 ч ВСВ)	58	30	71	44	0,13	365
120	метод ДВНИГМИ	75	53	46	59	0,09	235
	технология РЭП (от 12 ч ВСВ)	57	32	83	45	0,18	365
144	технология РЭП (от 12 ч ВСВ)	59	31	81	44	0,17	365

ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ СРОКОВ УСТОЙЧИВОГО ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

Метод долгосрочного прогноза сроков устойчивого ледообразования в северо-восточной части Карского моря разработан в ГУ «ААНИИ» и основан на использовании локально-генетического подхода, который позволяет предвидеть тип замерзания на акватории однородных ледовых районов с заблаговременностью от одного до полутора месяцев. В методе используются фактические данные об остаточной ледовитости северо-восточной части Карского моря и ожидаемых метеорологических условиях в регионе. Метод базируется на данных ИСЗ, ледовых обзорных и региональных карт ГУ «ААНИИ», информации о ледовых и метеорологических условиях на реперных полярных станциях акватории.

Оправдываемость прогнозов сроков устойчивого ледообразования в среднем за четыре года испытаний составила 73 % при природной обеспеченности 57 % (эффективность + 16 %). Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета в своем решении от 25 июня 2010 года рекомендовала внедрить метод долгосрочного прогноза сроков устойчивого ледообразования в северо-восточной части Карского моря в оперативную практику ГУ «ААНИИ» в качестве основного.

Условия ледообразования (сроки устойчивого замерзания акватории) являются естественным природным ограничителем осенних навигационных операций на трассах Северного морского пути. Отсюда понятна необходимость прогностического предвидения режима молодых льдов, заблаговременность и форма представления которого способны повысить эффективность и безопасность при принятии рационально обоснованных и ответственных решений в условиях Крайнего Севера. Ранее был разработан метод и технология долгосрочного прогноза сроков замерзания акватории для юго-западной части Карского моря; метод прошел испытания и был рекомендован ЦМКП в качестве основного в научно-оперативной практике ААНИИ. Настоящее исследование продолжает ранее начатые работы и имеет целью распространение разработанной методики прогноза на акваторию северо-восточной части Карского моря.

Основным требованием современной гидрометеорологической продукции является

картированная форма представления результатов прогноза. К сожалению, в настоящее время отсутствует какая-либо апробированная методика предвидения сроков замерзания арктических акваторий, которая позволила бы представить пространственные особенности перемещения сроков ледообразования для арктических акваторий, находящихся к востоку от Енисея. Настоящее исследование в качестве основной эвристической установки имеет цель ликвидировать этот пробел.

Географическая сложность арктических акваторий, морфометрическая неоднородность подстилающей поверхности, неравномерное распределение остаточной ледовитости, высокая степень изменчивости атмосферных процессов в осенний период делают исключительно изменчивым режим и, следовательно, сложным предвидение начальных условий замерзания арктических акваторий. Именно поэтому повышаются требования к форме, разрешающей способности, регулярности, полноте, структурной упорядоченности представления гидрометеорологической информации, необходимой для предвидения природных условий замерзания арктических морей.

Исходя из современного опыта научно-оперативной работы, наилучшее соответствие природным закономерностям наблюдается при анализе и прогнозе ледовых условий в естественных, однородных в режимном отношении, географических таксонах. Такой подход позволяет с наибольшей полнотой воспроизвести пространственные неоднородности при прогнозировании сроков ледообразования. Локально-генетическая установка нацелена на учет местных, региональных особенностей состояния ледяного покрова в конкретных географических условиях акватории.

Основным технологическим инструментом прогноза является метод локально-генетической типизации ледовых условий, который позволяет предвидеть количественные и пространственные особенности типового распространения изохрон замерзания и нарастания льда в естественных однородных районах акватории. Для реализации этой исследовательской установки необходимо выполнить определенную последовательность действий:

- районирование акватории с целью выделения квазиоднородных ледовых районов;
- определение особенностей формирования аномалий ледообразования в однородных районах с целью получения статистических и гидрометеорологических характеристик типов замерзания акватории;
- исследование степени связанности условий ледообразования в смежных районах;
- и построение общей типизации сроков ледообразования для всего моря (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид схемы составления прогноза замерзания акватории.

Исследование особенностей замерзания акватории и прогноз условий ледообразования проводится отдельно для каждого из выделенных однородных районов. Собственно прогноз для всей северо-восточной части Карского моря представляет собой объединение локальных прогнозов в однородных районах. В соответствии с рис. 1 предполагается, что технология прогноза состоит из пяти основных этапов. При этом первые четыре этапа прогноза проводятся отдельно для каждого из однородных районов, а четвертый этап является синтезом для всей акватории, состоящей из нескольких таксонов.

Однородные ледовые районы северо-восточной части Карского моря

В качестве первого шага реализации исследовательской программы и в соответствии с локально-генетическим подходом проведено районирование северо-восточной части Карского моря, на акватории которого выделено пять однородных ледовых районов (рис. 2).

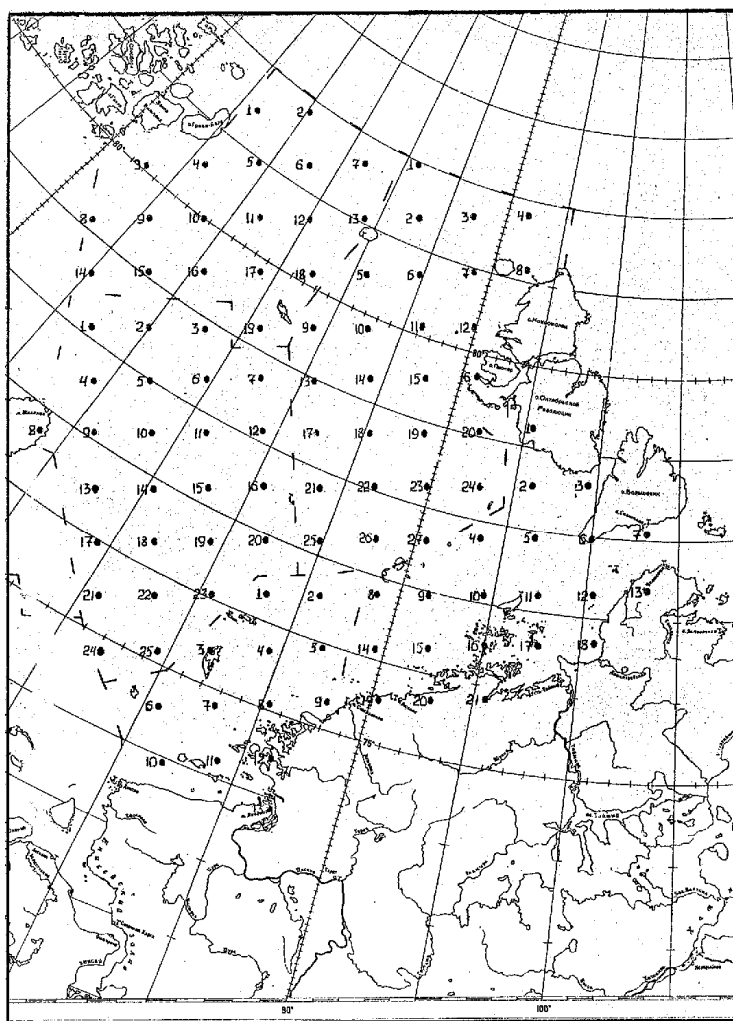


Рис. 2. Регулярная сетка для прогноза сроков замерзания и границы (пунктирная линия) между однородными ледовыми районами северо-восточной части Карского моря

Формирование ледовых условий в северо-восточной части Карского моря отличается пространственной неоднородностью в распределении характеристик ледяного покрова. Поэтому районирование акватории является обязательным предварительным этапом получения достоверной и объективной информации о состоянии льдов в море. В зависимости от особенностей распределения и изменения ледовых условий в течение летнего сезона (июнь-сентябрь) и своеобразия ледового, метеорологического и географического режима исследуемая акватория разделена на пять частей (однородных ледовых районов). Диксонский район географически тяготеет к региону морского взморья реки Пясина и прилегающей акватории. Норденшельдовский район занимает акваторию между берегом Харитона Лаптева на п-ове Таймыр и о-вами Октябрьской Революции и Большевик. Карский район пространственно ограничен мысом Желания и о-вами Визе,

Уединения, Арктического Института. Североземельский район занимает часть моря к западу от Северной Земли. Наконец, Визевский район расположен между Землей Франца-Иосифа и о. Визе.

Однородный район является таксономической единицей, которая служит естественным каркасом при оформлении архива исходной информации, необходимой для прогноза сроков замерзания арктических акваторий в осенний период.

Организация архива информации о сроках замерзания акватории выполнена с учетом ледово-географической классификации морей внутри каждого из выделенных однородных районов. Шаг регулярной сетки составляет 75 км, достаточной для воспроизведения локальных особенностей режима замерзания.

Общее количество узлов регулярной сетки при делении северо-восточной части Карского моря составляет 105 единиц и распределено между таксонами моря следующим образом:

- Диксонский район – 13 узлов;
- Норденшельдовский район – 21 узел;
- Карский район – 25 узлов;
- Североземельский район – 27 узлов;
- Визевский район – 19 узлов.

Ряд наблюдений включает период с 1942 по 2000 год. Таким образом, поле сроков ледообразования каждого года представляет собой упорядоченный набор из 105 значений календарной даты замерзания. Весь архив состоит из 5670 единиц информации.

Создание архива сроков устойчивого ледообразования позволяет рассчитать основные пространственные особенности замерзания акватории. При среднемноголетних условиях ледообразование начинается на крайнем севере моря 2 сентября и заканчивается 28 октября у мыса Желания; продолжительность перемещения “волны замерзания” составляет 56 суток, как показано на рис. 3. Столь сильная пространственная неоднородность приводит к тому, что условия замерзания существенно различаются в однородных районах моря (табл. 1), что создает исходные предпосылки для анализа гидрометеорологических особенностей циркуляционных условий ледообразования.

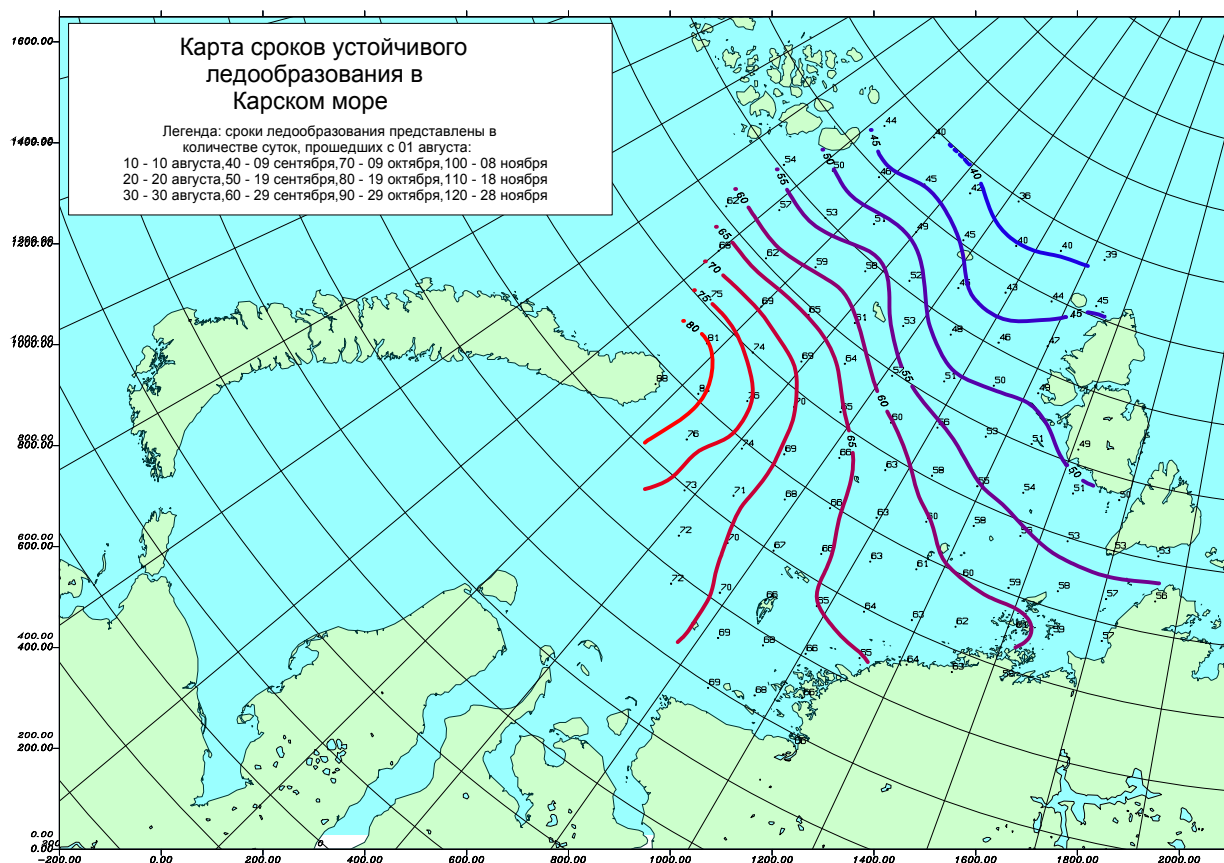


Рис. 3. Изохроны среднемноголетних сроков устойчивого ледообразования на акватории северо-восточной части Карского моря

Таблица 1

Среднемноголетние характеристики сроков замерзания акватории однородных районов северо-восточной части Карского моря

Район	Средний срок ледообразования	Начало ледообразования	Окончание ледообразования	Размах, сутки
Диксонский	6 октября	2 октября	8 октября	6
Норденшельдовский	28 сентября	18 сентября	4 октября	16
Карский	10 октября	2 октября	27 октября	26
Североземельский	19 сентября	2 сентября	2 октября	30
Визевский	20 сентября	7 сентября	6 октября	29

Наряду с общими особенностями сроков ледообразования, свойственными для всей акватории северо-восточной части Карского моря, замерзание характеризуется сильной пространственной неоднородностью по акватории однородных ледовых районов. Каждый естественный район отличается своими средними сроками начала, окончания и продолжительности ледообразования, а также средним сроком замерзания для всех

регулярных узлов района. Причем все эти показатели изменяются от района к району (табл. 2). Хронологически первыми замерзают ледовые районы, расположенные на севере моря – Североземельский и Визевский. Далее ледообразование смещается к п-ову Таймыр и распространяется на акваторию Норденшельдовского района, а заканчивается на западе акватории – в Карском и Диксонском районах. Диксонский и Норденшельдовский районы отличаются относительно быстрым ледообразованием, продолжительность которого примерно в два раза меньше по сравнению с остальными акваториями. Это связано с мелководностью двух указанных таксонов и их компактным расположением вдоль побережья Таймыра.

Таблица 2

Статистические показатели среднемноголетних сроков ледообразования в однородных районах северо-восточной части Карского моря

Показатель ледообразования	Диксонский	Норден-шельдовский	Карский	Северо-земельский	Визевский
Начало замерзания	1 октября	16 сентября	30 сентября	4 сентября	7 сентября
Окончание замерзания	10 октября	4 октября	28 октября	3 октября	4 октября
Продолжительность замерзания	10 суток	18 суток	28 суток	30 суток	27 суток
Средний срок замерзания	6 октября	27 сентября	9 октября	19 сентября	21 сентября

Пространственная неравномерность замерзания акватории определяется суперпозицией нескольких факторов – теплосодержанием вод к концу летнего сезона, площадью остаточных льдов, направлением воздушных переносов осенью, интенсивностью выхолаживания подстилающей поверхности и т.д. Каждый однородный район характеризуется локальными природными особенностями, что и определяет несхожесть сроков ледообразования между естественными таксонами. Так, площадь сплоченных льдов в августе – сентябре изменяется в широком диапазоне – от 50 до 5 %, как показано на рис. 4. Это решающим образом сказывается на начале и интенсивности процесса замерзания акватории.

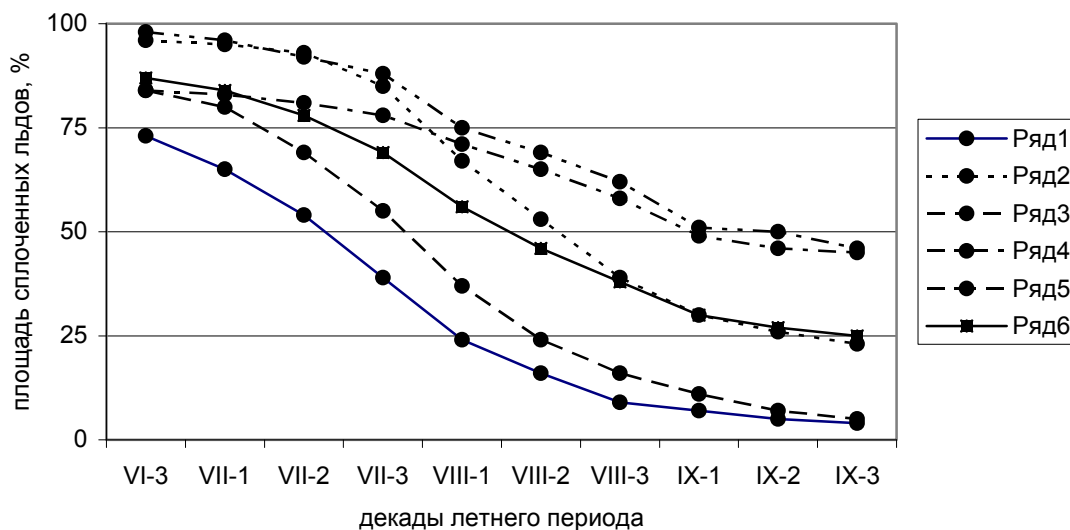


Рис. 4. Площадь сплоченных льдов в июне–сентября в однородных ледовых районах северо-восточной части Карского моря. 1 – Диксонский район; 2 – Карский район; 3 – Норденшельдовский район; 4 – Североземельский район; 5 – Визевский район; 6 – северо-восточная часть Карского моря

Формирование типовых аномалий сроков ледообразования в однородных районах северо-восточной части Карского моря

В соответствии с количественными и пространственными особенностями замерзания акватории все разнообразие сроков ледообразования в однородных районах сведено в четыре ледовых типа (табл. 3).

Каждый тип характеризуется:

- средними сроками начала ледообразования;
- средними сроками окончания ледообразования;
- продолжительностью ледообразования;
- средней датой замерзания акватории всего района;
- аномалией сроков ледообразования относительно среднемноголетних значений.

Выделяются следующие особенности режима замерзания акватории:

- наиболее вероятным является ледообразование около среднемноголетних сроков;
- повторяемость экстремальных типов замерзания (типы 1 и 4) меньше и они наблюдаются примерно четыре раза в 10 лет;

– экстремально раннее замерзание северо-восточной части Карского моря начинается в течение конца августа – начала сентября, а экстремально позднее – в течение первой половины октября;

– экстремально раннее замерзание юго-западной части Карского моря заканчивается в середине сентября, а экстремально позднее – в октябре–ноябре;

– в однородных районах с повышенным количеством остаточных льдов раннее замерзание акватории протекает примерно в два раза быстрее, чем позднее замерзание: 9–20 и 17–44 суток соответственно, в однородных районах с пониженным количеством остаточных льдов режим раннего и позднего замерзания примерно одинаков с близкими показателями скорости перемещения кромки молодых льдов;

– разница между средними сроками раннего и позднего замерзания составляет около одного месяца (29–36 суток).

Таблица 3

Типовые особенности ледообразования на акватории однородных районов северо-восточной части Карского моря

Тип замерзания	Повторяемость, %	Характеристики замерзания				Аномалия среднего
		начало	окончание	продолжит.	среднее	
Диксонский район						
1	13	12 сентября	24 сентября	12 суток	17 сентября	-1,70σ
2	18	21 сентября	4 октября	13 суток	27 сентября	-0,80σ
3	43	2 октября	9 октября	7 суток	6 октября	+0,06σ
4	26	13 октября	22 октября	9 суток	19 октября	+1,25σ
Норденшельдовский район						
1	13	7 сентября	16 сентября	9 суток	10 сентября	-1,47σ
2	41	13 сентября	30 сентября	17 суток	21 сентября	-0,53σ
3	31	20 сентября	9 октября	19 суток	3 октября	+0,52σ
4	15	6 октября	23 октября	17 суток	16 октября	+1,65σ
Карский район						
1	18	11 сентября	17 октября	36 суток	21 сентября	-1,44σ
2	28	24 сентября	20 октября	26 суток	4 октября	-0,44σ
3	28	6 октября	26 октября	19 суток	13 октября	+0,22σ
4	26	19 октября	14 ноября	26 суток	27 октября	+1,24σ
Североземельский район						
1	25	26 августа	16 сентября	19 суток	5 сентября	-1,11σ
2	30	29 августа	28 сентября	30 суток	12 сентября	-0,57σ
3	17	7 сентября	4 октября	27 суток	22 сентября	+0,24σ
4	28	10 сентября	16 октября	36 суток	4 октября	+1,22σ
Визевский район						
1	23	27 августа	16 сентября	20 суток	6 сентября	-1,20σ
2	38	3 сентября	1 октября	28 суток	16 сентября	-0,33σ
3	18	13 сентября	10 октября	27 суток	26 октября	+0,44σ
4	21	19 сентября	2 ноября	44 суток	9 октября	+1,59σ

Анализ гидрометеорологических показателей при формировании типов ледообразования показывает степень воздействия природных факторов, ответственных за естественную изменчивость сроков замерзания исследуемой акватории, прежде всего, среднедекадных значений температуры воздуха (табл. 4).

Таблица 4

Декадные значения температуры воздуха (°С) при различных типах замерзания в однородных ледовых районах северо-восточной части Карского моря

Тип	Район	VIII ₃	IX ₁	IX ₂	IX ₃	X ₁	X ₂	X ₃
1	Диксонский	3,7	0,7	-0,2	-2,6	-5,8	-9,9	-16,0
	Норденшельдовский	-0,9	-2,7	-4,3	-4,0	-7,0	-10,4	-17,3
	Карский	-0,5	-1,4	-3,0	-5,8	-8,7	-12,5	-15,9
	Североземельский	-1,2	-2,8	-4,6	-6,1	-9,4	-14,6	-20,9
	Визевский	-1,1	-2,7	-3,8	-6,0	-9,0	-14,6	-20,9
	<i>Среднее</i>	0,0	-1,8	-3,2	-4,9	-8,0	-12,4	-18,2
2	Диксонский	3,6	3,2	0,8	-1,8	-4,9	-10,8	-14,0
	Норденшельдовский	-0,1	-0,7	-2,3	-4,9	-8,6	-12,2	-16,6
	Карский	-1,0	-1,5	-2,4	-3,7	-6,7	-10,5	-14,4
	Североземельский	-1,2	-2,0	-3,6	-7,2	-10,1	-13,5	-17,8
	Визевский	-1,1	-2,0	-2,8	-5,6	-8,4	-13,5	-17,8
	<i>Среднее</i>	-0,0	-0,6	-2,1	-4,6	-7,7	-12,1	-16,1
3	Диксонский	4,2	3,4	1,6	-0,2	-4,3	-6,9	-12,0
	Норденшельдовский	1,3	0,4	-0,7	-2,5	-4,9	-8,8	-12,0
	Карский	0,6	0,0	-0,8	-1,9	-4,5	-7,9	-13,7
	Североземельский	0,0	-1,6	-2,0	-4,2	-7,7	-10,8	-12,6
	Визевский	-0,2	-0,6	-1,6	-3,1	-7,4	-10,8	-12,6
	<i>Среднее</i>	1,2	0,3	-0,7	-2,4	-5,8	-9,0	-12,6
4	Диксонский	5,2	3,5	2,5	1,5	-0,8	-3,9	-9,3
	Норденшельдовский	0,4	0,2	-0,4	-0,7	-2,3	-4,6	-10,7
	Карский	0,7	-0,1	-0,3	-0,8	-1,6	-4,4	-8,3
	Североземельский	-0,2	-1,3	-1,8	-2,6	-5,1	-9,3	-14,3
	Визевский	0,0	-1,3	-1,9	-2,2	-4,0	-9,3	-14,3
	<i>Среднее</i>	1,2	0,2	-0,4	-1,0	-2,8	-6,3	-11,4

Как видно, температура воздуха, характеризующая интенсивность выхолаживания подстилающей поверхности, оказывает решающее влияние на формирование типового сценария ледообразования в однородных районах. В общем случае наблюдается следующее правило: чем раньше температура воздуха опустится до некоторой критической отметки, тем раньше начинается замерзание моря. Причем, чем позже происходит устойчивое ледообразование, тем при более низкой температуре воздуха оно происходит (табл. 5). Так, если акватория замерзает в начале сентября, то это происходит при температуре около -2,7 °С, а если акватория замерзает в конце сентября, то это происходит при температуре около -4,0 °С.

**Осредненные декадные значения температуры воздуха (°С) до, в момент и после
типичного замерзания в однородных районах северо-восточной части Карского моря**

Декада среднего замерзания в районе	Одна декада до замерзания	Непосредственно декада замерзания	Одна декада после замерзания
IX ₁	-1,1	-2,7	-4,2
IX ₂	-1,8	-3,1	-6,2
IX ₃	-2,1	-4,0	-7,6
X ₁	-2,3	-4,6	-8,0
X ₂	-2,0	-4,5	-9,5

Как и следовало ожидать, наблюдается хорошая корреляция между сентябрьской ледовитостью в однородных районах и сроком замерзания акватории (табл. 6). Выделяется общее режимное правило: чем больше остаточных льдов в море, тем раньше акватория замерзает. Тип сроков устойчивого ледообразования напрямую связан с площадью льдов осенью.

**Ледовитость (%) и среднемесячные аномалии (σ) температуры воздуха в однородных районах
северо-восточной части Карского моря при различных типах замерзания акватории**

Тип	Район	Ледовитость, %		Аномалия температуры (доли с.к.о.)	
		фактическая	аномалия	сентябрь	октябрь
1	Диксонский	68	+46	-1,42	-0,89
	Норденшельдовский	88	+35	-1,07	-0,36
	Карский	70	+48	-0,19	-0,91
	Североземельский	91	+22	-0,56	-0,84
	Визевский	96	+23	-0,87	-0,31
	Среднее	83	+41	-0,82	-0,66
2	Диксонский	47	+25	-0,52	-0,68
	Норденшельдовский	69	+16	-0,33	-0,62
	Карский	32	+10	-0,51	-0,41
	Североземельский	85	+16	-0,45	-0,45
	Визевский	84	+11	-0,34	-0,47
	Среднее	63	+16	-0,43	-0,53
3	Диксонский	6	-16	+0,10	0,00
	Норденшельдовский	25	-28	+0,59	+0,54
	Карский	2	-20	+0,51	+0,13
	Североземельский	70	+1	+0,55	+0,48
	Визевский	50	-23	+0,87	-0,02
	Среднее	31	-17	+0,52	+0,23
4	Диксонский	0	-22	+0,75	+0,92
	Норденшельдовский	10	-43	+0,99	+1,32
	Карский	3	-19	+0,85	+1,15
	Североземельский	35	-34	+0,99	+0,68
	Визевский	44	-29	+0,85	+1,12
	Среднее	18	-29	+0,89	+1,04

В результате обобщения всех типов замерзания получены следующие соотношения, характерные для однородных районов северо-восточной части Карского моря.

1. Тип замерзания 1 (экстремально раннее ледообразование) – формируется, когда аномалия ледовитости в сентябре составляет в среднем +41 %.

2. Тип замерзания 2 (умеренно раннее ледообразование) – формируется, когда аномалия ледовитости в сентябре составляет в среднем +16 %.

3. Тип замерзания 3 (умеренно позднее ледообразование) – формируется, когда аномалия ледовитости в сентябре составляет в среднем –17 %.

4. Тип замерзания 4 (экстремально позднее ледообразование) – формируется, когда аномалия ледовитости в сентябре составляет в среднем –29 %.

Таким образом, тяжелые ледовые условия летнего периода определяют ранний фон осенних явлений. Напротив, легкие ледовые условия летнего периода определяют поздний фон осенних явлений. Это обстоятельство увеличивает заблаговременность предвидения при аномальном развитии ледовых условий.

Типы замерзания 1 и 2 формируются при повышенной остаточной ледовитости на акватории однородных районов. Напротив, типы замерзания 3 и 4 формируются при пониженной остаточной ледовитости на акватории однородных районов. В свою очередь, разделение типов 1 и 2 происходит в зависимости от интенсивности осеннего выхолаживания, так же, как и разделение типов 3 и 4.

Анализ направления и интенсивности воздушных переносов осенью показал, что именно особенности атмосферной циркуляции формируют аномалии температуры воздуха и сроков ледообразования в море (табл. 7). В качестве показателей приземного ветра использовались значения разницы давления воздуха между пунктами наблюдений на характерных створах.

1. Для Диксонского района репрезентативным створом была выбрана пара п/ст. о. Диксон – мыс Стерлегова.

2. Для Норденшельдовского района репрезентативным створом была выбрана пара п/ст. мыс Стерлегова – мыс Челюскин.

3. Для Карского западного района репрезентативным створом была выбрана пара п/ст. мыс Желания – о. Уединения.

4. Для Карского восточного района репрезентативным створом была выбрана пара п/ст. о. Уединения – о. Средний.

5. Для Визевского района репрезентативным створом была выбрана пара п/ст. о. Хейса – о. Визе.

**Аномалии приземного давления (σ) на характерных створах при различных типах
замерзания акватории однородных районов северо-восточной части Карского моря**

Тип	Район	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1	Диксонский	0,52	-0,88	-1,02	-2,78	0,04
	Норденшельдовский	1,04	0,92	-0,42	-2,82	0,34
	Карский	0,53	-1,07	-1,74	-3,46	-2,30
	Североземельский	0,58	0,22	-0,76	-2,12	0,03
	Визевский	0,67	-0,44	-1,00	-1,60	-0,97
	Среднее	0,67	-0,25	-0,99	-2,56	-0,57
2	Диксонский	-1,29	-1,43	-0,57	-2,23	-1,91
	Норденшельдовский	0,50	-0,43	-0,78	-2,14	-1,39
	Карский	-0,35	-0,70	-0,78	-2,55	-3,25
	Североземельский	0,46	-1,00	-0,80	-1,44	-2,01
	Визевский	-0,11	-0,89	-0,80	-1,91	-2,67
	Среднее	-0,16	-0,89	-0,75	-2,05	-2,25
3	Диксонский	-0,25	-0,72	-0,99	-0,74	-0,96
	Норденшельдовский	-1,39	-1,55	-1,06	-0,43	-1,00
	Карский	0,13	-1,35	-0,65	-1,94	-2,59
	Североземельский	-0,03	0,53	-1,37	-1,17	-0,87
	Визевский	-0,73	-0,44	1,49	-2,21	-3,54
	Среднее	-0,45	-0,71	-0,52	-1,30	-1,79
4	Диксонский	-0,09	-0,45	-0,78	-1,60	-1,04
	Норденшельдовский	-0,05	-1,08	-1,35	-2,42	-2,85
	Карский	0,75	-0,07	-0,96	-2,08	-3,08
	Североземельский	0,09	-0,84	-0,63	-0,92	-1,17
	Визевский	-0,54	-1,40	-1,56	-2,14	-1,34
	Среднее	0,03	-0,77	-1,06	-1,83	-1,90

Указанные показатели исчерпывающим образом характеризуют особенности воздушных переносов над акваторией однородных районов: знак разности и ее модуль показывают, во-первых, преобладание циклонической или антициклонической циркуляции, и, во-вторых, интенсивность преобладающей циркуляции.

Анализ показывает основные циркуляционные особенности формирования типов замерзания акватории. Установлено, что тип 1 экстремально раннего ледообразования образуется при антициклонической циркуляции в течение августа и ослабленной циклонической циркуляции в течение сентября. Именно при таких природных условиях происходит повышенное выхолаживание подстилающей поверхности, и формируются экстремальные отрицательные аномалии температуры воздуха в августе и в сентябре. Основное отличие типа 1 от типа 2 (оба типа характеризуются повышенной остаточной ледовитостью) состоит в том, что в августе и в сентябре в типе 2 наблюдается большая интенсивность циклонической циркуляции (рис. 5), что сопровождается относительно повышенными значениями температуры воздуха, и, следовательно, более поздним ледообразованием.

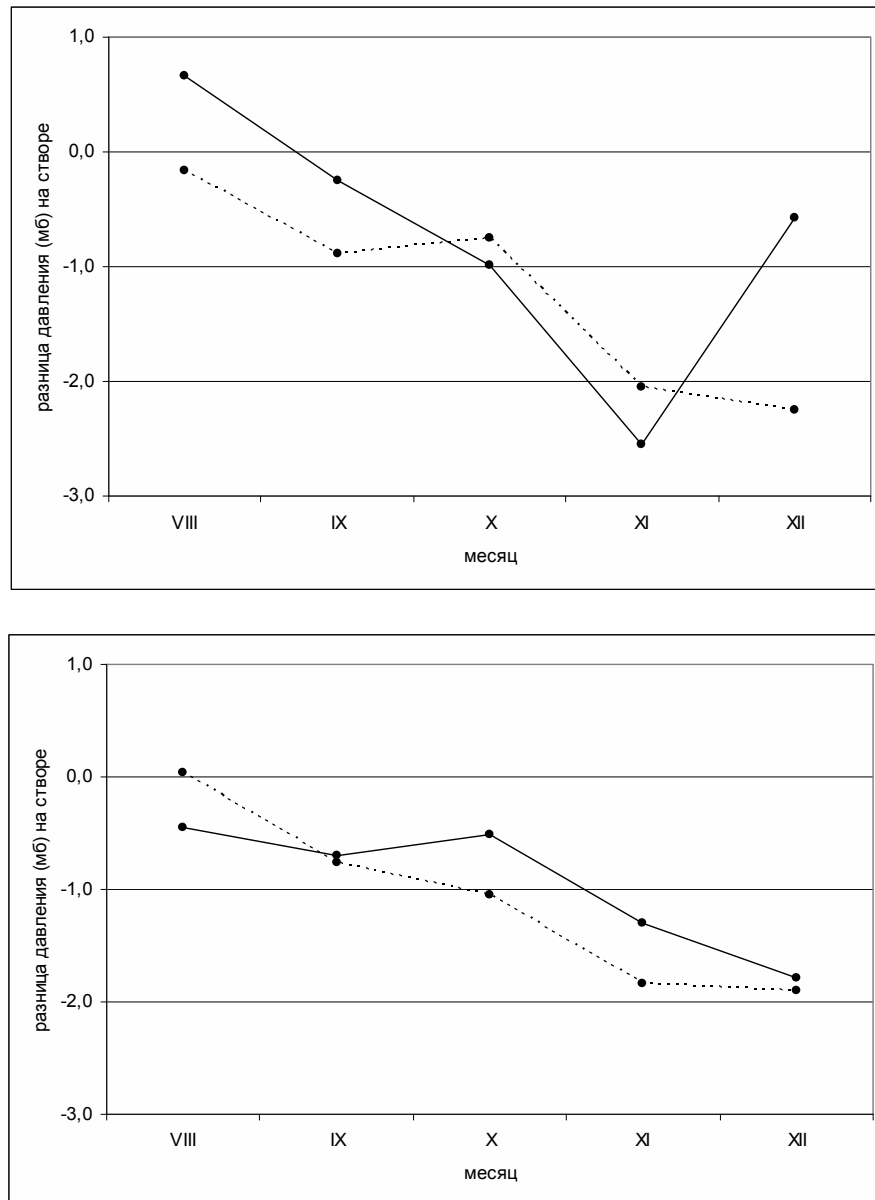


Рис. 5. Разница давления на створах в северо-восточной части Карского моря.

вверху: тип 1 – сплошная линия, тип 2 – пунктирная линия,

внизу: тип 3 – сплошная линия, тип 4 – пунктирная линия

При пониженной остаточной ледовитости наблюдаются свои характерные, режимные особенности. Тип 3 умеренно позднего замерзания образуется при ослабленной циклонической циркуляции в течение октября и ноября; напротив, тип 4 экстремально позднего замерзания образуется при усилении циклонической циркуляции в течение октября и ноября. Основное отличие типа 4 от типа 3 (оба типа характеризуются пониженной остаточной ледовитостью) состоит в том, что поздней осенью в типе 4 наблюдается большая интенсивность циклонической циркуляции, что сопровождается относительно повышенными значениями температуры воздуха, и, следовательно, более

поздним ледообразованием.

В качестве примера приведем характерную карту распределения приземного давления воздуха при усилении антициклонической циркуляции, т.е. при развитии арктического антициклона из Арктики на Баренцево и Карское моря, что приводит к формированию отрицательных аномалий температуры воздуха (рис. 6).

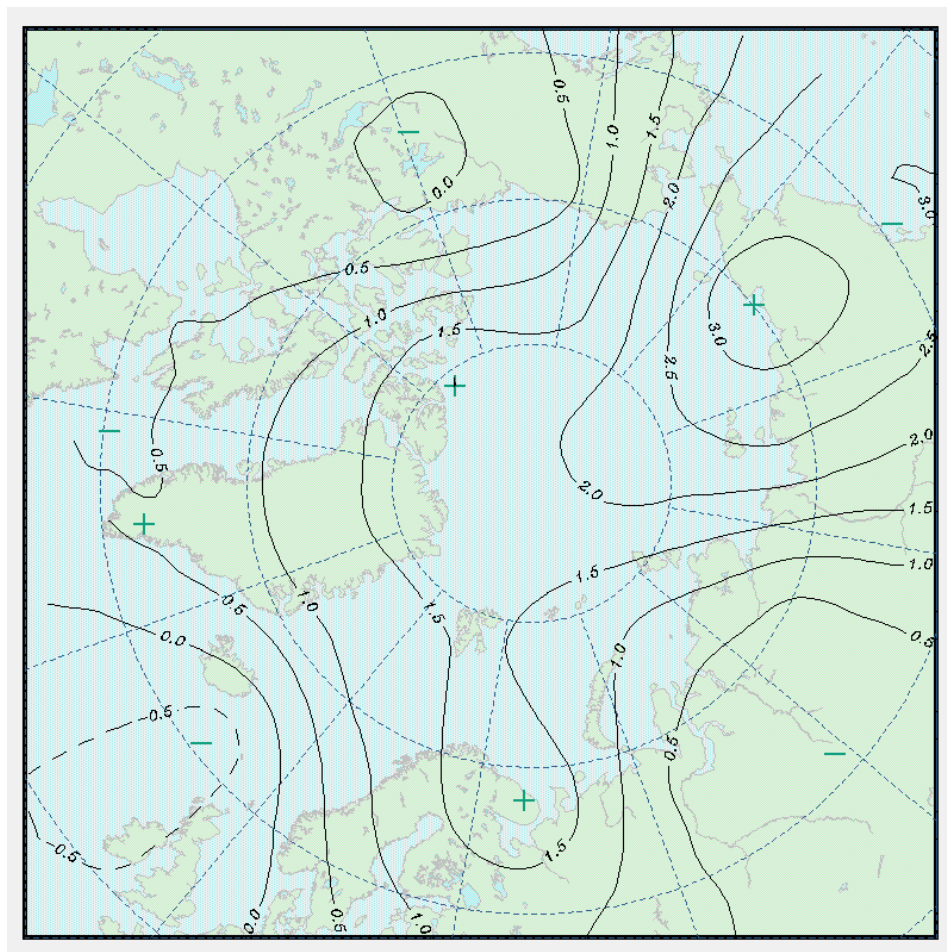


Рис. 6. Распределение аномалий приземного давления воздуха в октябре при аномально раннем ледообразовании в Диксонском районе северо-восточной части Карского моря

Таким образом, при формировании типа замерзания активно действуют три основные природные предиктора:

1. во-первых, остаточная ледовитость в сентябре определяет общий фон развития осенних явлений; повышенная ледовитость формирует условия раннего ледообразования, а пониженная – позднего;

2. на исходный фон ледовитости накладываются особенности атмосферной циркуляции; атмосфера может характеризоваться или преобладанием антициклоничности

или преобладанием циклоничности (в свою очередь, циклоничность может быть большей или меньшей интенсивности);

3. атмосферная циркуляция связана со скоростью выхолаживания подстилающей поверхности, что выражается в формировании аномалий (отрицательных и положительных) приземной температуры воздуха.

Антициклоническая циркуляция с отрицательными аномалиями температуры при повышенной остаточной ледовитости приводит к формированию сценария экстремально раннего замерзания. Напротив, циклоническая циркуляция с положительными аномалиями температуры при пониженной ледовитости приводит к формированию сценария экстремально позднего замерзания. Умеренно аномальное замерзание формируется при сочетании противоположных тенденций в развитии осенних процессов.

Выполненный анализ показывает, что формирование типа осеннего замерзания акватории однородных районов северо-восточной части Карского моря является многофакторным явлением, зависящим от комбинации аномалий предикторов, определяющих изменчивость сроков ледообразования (табл. 8).

Таблица 8

Схема формирования прогностического типа ледообразования в однородных районах северо-восточной части Карского моря

Остаточная ледовитость	Аномалия атмосферной циркуляции	Аномалия температуры воздуха	Тип ледообразования
Повышенное количество остаточных льдов	Антициклоническая циркуляция	Экстремальные отрицательные аномалии	1
	Слабая циклоническая циркуляция	Умеренные отрицательные аномалии	2
Пониженное количество остаточных льдов	Слабая циклоническая циркуляция	Умеренные положительные аномалии	3
	Усиленная циклоническая циркуляция	Экстремальные положительные аномалии	4

Закономерности формирования и изменчивости аномалий гидрометеорологических условий определяют оптимальные сроки составления прогноза замерзания акватории: в середине и второй половине сентября при заблаговременности прогноза около одного – полутора месяцев.

Разработанный метод прогноза опирается на исходное состояние ледяного покрова и ожидаемое развитие метеорологических процессов, однако не учитывает характеристики водных масс к началу ледообразования. Отсутствие гидрологической информации определяется современным состоянием наблюдательной сети. К тому же, в относительно мелководных морях (к которым относится акватория сибирского шельфа) решающее

воздействие на изменчивость сроков ледообразования оказывают, прежде всего, остаточная ледовитость и интенсивность выхолаживания подстилающей поверхности; отметим также, что ожидаемые особенности атмосферной циркуляции в косвенном виде учитывают и тепловое состояние акватории моря.

Связанность условий ледообразования между смежными районами

Анализ формирования аномалий сроков ледообразования выполнен отдельно для пяти районов. Каждому ледовому району соответствуют характерные сроки ледообразования и особенности распространения по акватории изохрон замерзания. Наряду с особенностями, присущими отдельному району, имеются признаки, общие для всех районов и позволяющие говорить об известном сходстве процесса замерзания на всей акватории. Это, прежде всего, теснота связи между показателями сроков ледообразования однородных районов. Обычно раннее ледообразование в каком-либо одном районе сопровождается также ранним ледообразованием и в других акваториях, и наоборот. Причем, анализ показывает, что наиболее тесная связь наблюдается между показателями среднего срока ледообразования, в то время как для показателей начала и окончания замерзания в районе показатели связи заметно слабее (табл. 9–11).

Таблица 9

Коэффициенты корреляции между сроками начала устойчивого ледообразования в однородных ледовых районах северо-восточной части Карского моря

Районы	Норденшельдовский	Карский	Североземельский	Визевский
Диксонский	0,66	0,78	0,32	0,39
Норденшельдовский	–	0,55	0,42	0,50
Карский	–	–	0,41	0,54
Североземельский	–	–	–	0,86

Таблица 10

Коэффициенты корреляции между сроками окончания устойчивого ледообразования в однородных ледовых районах северо-восточной части Карского моря

Районы	Норденшельдовский	Карский	Североземельский	Визевский
Диксонский	0,82	0,51	0,78	0,51
Норденшельдовский	–	0,37	0,81	0,49
Карский	–	–	0,51	0,63
Североземельский	–	–	–	0,69

**Коэффициенты корреляции между средними сроками устойчивого ледообразования в
однородных ледовых районах северо-восточной части Карского моря**

Районы	Норденшельдовский	Карский	Североземельский	Визевский
Диксонский	0,87	0,80	0,77	0,54
Норденшельдовский	–	0,64	0,84	0,53
Карский	–	–	0,68	0,71
Североземельский	–	–	–	0,76

Наличие тесной связи между показателями замерзания показывает, что анализ и прогноз условий замерзания моря может не только ограничиваться естественными границами однородных ледовых районов, но и выходить за их пределы, т.е. возможно построение типовых карт для всей суммарной акватории северо-восточной части Карского моря и использование полученных шаблонов для заблаговременного предвидения сроков замерзания акватории.

В качестве иллюстрации на рис. 7 приведена типовая карта для лет с крупной отрицательной аномалией сроков ледообразования. Для сравнения на рис. 8 приведена другая типовая карта, также для случая раннего замерзания, но для выборки лет со значимой, но не крупной аномалией сроков устойчивого ледообразования. Хорошо наблюдаются характерные различия в пространственном перемещении изохрон замерзания. Аналогичным образом можно иллюстрировать случаи позднего замерзания – с крупной аномалией сроков устойчивого ледообразования и со значимой, но не крупной аномалией; также отмечаются типовые различия в пространственном положении изохрон замерзания.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что типовые карты-схемы изохрон ледообразования могут успешно и эффективно использоваться для анализа и прогноза как для акватории отдельных ледовых районов, так и для всей северо-восточной части Карского моря, т.е. типовыми условиями может быть описано не только ледообразование в отдельных однородных районах, но и вся акватория северо-восточной части Карского моря без разделения на составляющие таксоны.

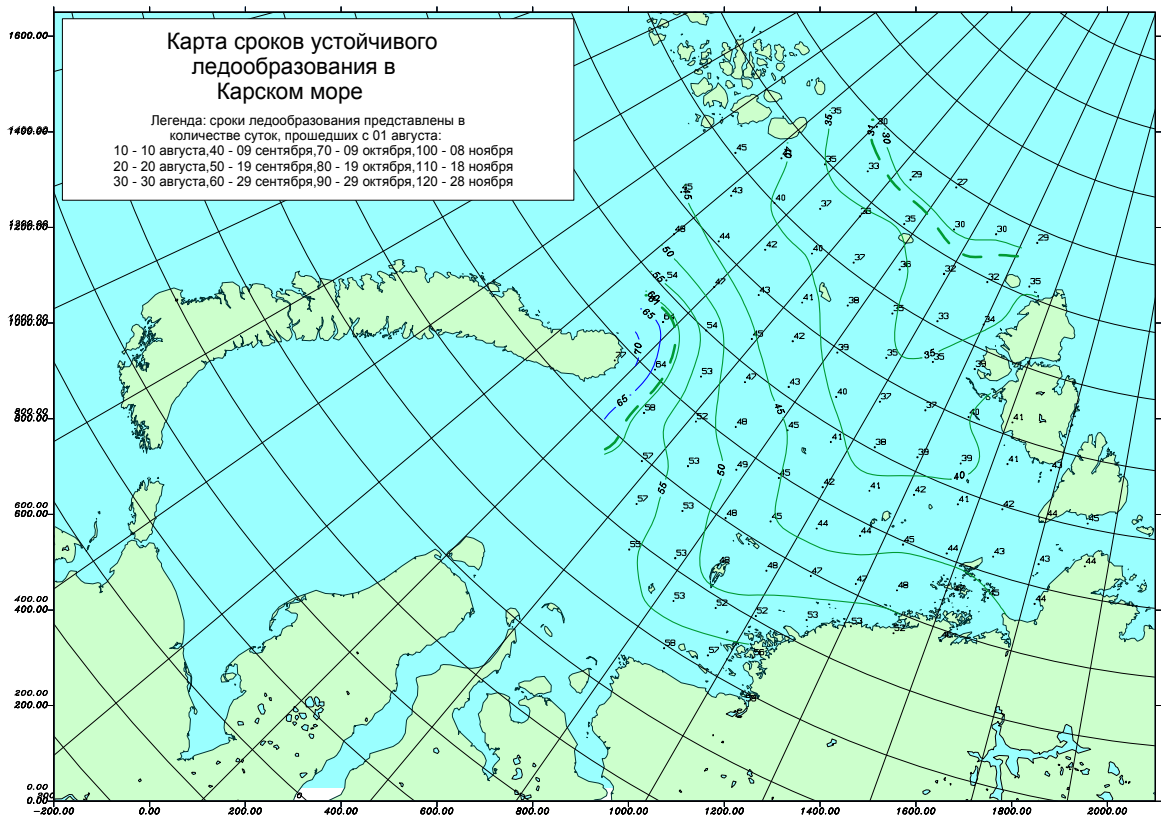


Рис. 7. Сроки ледообразования при anomalously раннем замерзании акватории северо-восточной части Карского моря

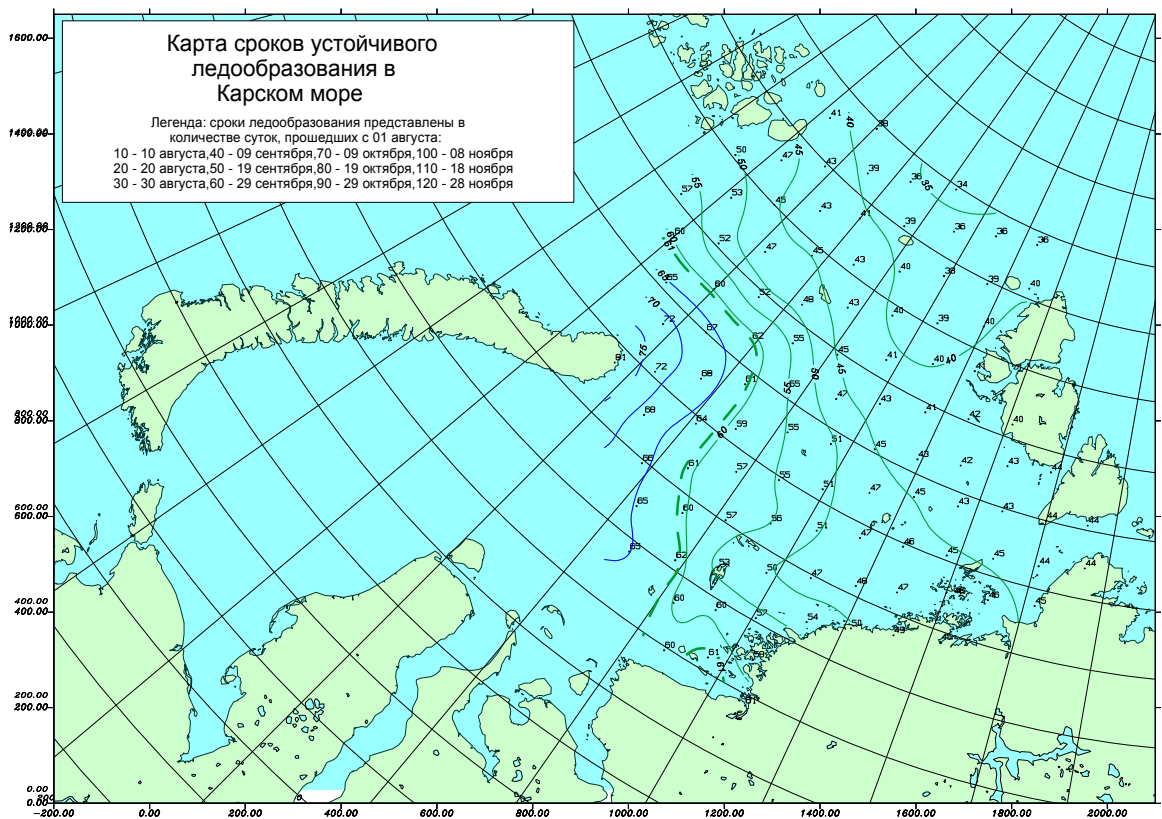


Рис. 8. Сроки ледообразования при умеренно раннем замерзании акватории северо-восточной части Карского моря

Методическая обеспеченность типовых значений сроков ледообразования в однородных районах северо-восточной части Карского моря

В результате выполненного анализа установлено, что с помощью локально-генетической типизации сроков замерзания акватории можно составить две методики предвидения осенних условий в море:

1. прогноз пространственного распределения изохрон типовых сроков устойчивого ледообразования отдельно по акватории каждого из пяти однородных районов;
2. прогноз пространственного распределения изохрон типовых сроков устойчивого ледообразования в целом для всей акватории северо-восточной части Карского моря.

При этом прогноз для однородных районов является основным, наиболее полно учитывающим локальные особенности ледового режима; второй прогноз, составляемый при необходимости (сразу для всей акватории) можно рассматривать как ориентировочный, описывающий общие тенденции пространственных особенностей распределения изохрон замерзания.

Собственно процедура прогнозирования заключается в отнесении ледовых условий однородного района в прогностическом году к одному из 4-ех типов сроков устойчивого ледообразования. Исходная ледовитость на начало сентября является известной величиной, а значения температуры воздуха и разность давления на створах берется из фонового метеорологического прогноза, составляемого в отделе долгосрочных метеорологических прогнозов ААНИИ. Разделение по типам замерзания происходит в соответствии с данными табл. 4, 6, 7. Каждому типу соответствует средняя карта сроков устойчивого ледообразования. На первом этапе определяется ожидаемый тип для каждого из пяти районов, на втором этапе на основании этих локальных прогнозов составляется обобщенный прогноз для всей акватории северо-восточной части Карского моря.

При развитии природных процессов по неожиданному варианту прогноз может быть изменен или уточнен. При этом заблаговременность прогноза может уменьшиться (при раннем замерзании) или остаться прежней (при позднем замерзании).

Эффективность разработанных технологий предвидения заключается в разнице между методической и климатической обеспеченностью прогнозируемых показателей. Так как данная методика относится к разряду долгосрочных прогнозов, то критерием оценки является отклонение от среднего на величину $0,8\sigma$.

Определение эффективности выполнено для прогноза осенних условий отдельно для однородных районов акватории. Для прогнозируемых значений сроков ледообразования

сравнивались показатели методической и климатической обеспеченности в однородных районах по узлам регулярной сетки (табл. 12).

Таблица 12

Обеспеченность (%) прогностических значений типовых сроков ледообразования в однородных районах северо-восточной части Карского моря

Район	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4	Среднее	Климатич. обеспеченность	Эффективность
Диксонский	88	97	96	97	95	60	+35
Норденшельдовский	97	93	93	93	93	55	+38
Карский	90	93	98	86	92	61	+31
Североземельский	98	95	90	88	93	51	+42
Визевский	95	86	90	80	88	58	+30
СВКМ	94	93	93	89	92	57	+35

В целом, методическая обеспеченность достаточно высока и составляет для однородных районов от 88 до 95 %, а для типов ледообразования от 89 до 94 %. Таким образом, разработанная методика и технология долгосрочного прогноза сроков ледообразования в однородных районах северо-восточной части Карского моря является достаточно эффективной по сравнению со среднемноголетним сценарием состояния ледяного покрова и адекватно описывает межгодовую изменчивость ледовых условий в период замерзания акватории.

Результаты оперативных испытаний метода

Испытание метода проводилось в отделе ледового режима и прогнозов ГУ «ААНИИ» в период с августа 2006 по декабрь 2009 года. Прогнозы составлялись и оценивались для северо-восточной части Карского моря, мористая граница которой проходит по линии о. Диксон – мыс Желания и мыс Желания – о. Грэм-Белл. В юго-западной части моря прогнозы составлялись отдельно для каждого из пяти однородных ледовых районов (Диксонский, Норденшельдовский, Карский, Североземельский, Визевский). Элементарной единицей прогностического поля является узел регулярной сетки с шагом 75 км, всего на прогнозируемой акватории расположен 105 таких узлов. Прогноз для северо-восточной части Карского моря является результатом режимного объединения частных прогнозов для локальных районов.

Всего за период испытаний было составлено четыре долгосрочных прогноза замерзания акватории однородных районов северо-восточной части Карского моря. Предметом прогноза является срок устойчивого ледообразования в узлах регулярной сетки,

на основе которых строится прогностическая карта последовательного перемещения изохрон замерзания по пространству акватории.

Оправдываемость прогнозов за период испытаний приведена в табл. 13. Как видно, оправдываемость прогнозов сроков устойчивого ледообразования в среднем за 4 года составила 73 %, при природной обеспеченности 57 % (эффективность + 16 %).

Таблица 13

Оправдываемость и эффективность (%) долгосрочных прогнозов сроков устойчивого ледообразования в северо-восточной части Карского моря в 2006-2009 гг.

Год	Оправдываемость	Эффективность
2006	66	+9
2007	83	+26
2008	75	+18
2009	67	+10
Среднее	73	+16

Оправдываемость прогнозов оценивалась согласно Наставлению [1]. При прогнозе срока ледообразования в узле регулярной сетки оценку 100 % получал прогноз, ошибка которого составляла менее $0,8\sigma$, где σ – среднеквадратическое отклонение срока ледообразования в данном узле от среднего значения; оценку 0 % получал прогноз, ошибка которого составляла более $0,8\sigma$. Осреднением прогнозов для каждого узла определялась оправдываемость прогноза как для акватории однородного района, так и для всей северо-восточной части Карского моря.

В настоящее время отсутствует долгосрочный метод прогноза, который позволял бы с заблаговременностью более 1 месяца предвидеть пространственные особенности распространения изохрон замерзания в северо-восточной части Карского моря. Обычно прогнозируется срок замерзания акватории в какой-либо конкретной точке (например полярная станция). Особенность испытываемого метода заключается в том, что появляется возможность прогноза срока ледообразования не только в отдельной точке, но и по пространству моря.

Оправдываемость испытываемого физико-статистического метода прогноза зависит от качества исходной информации, надежности идентификации начальных условий состояния ледяного покрова в конце летнего периода (август–сентябрь) и точности ожидаемого изменения метеорологических условий в октябре–ноябре. В связи с ухудшением в последние годы надежности данных гидрометеорологической сети, прекращением авиационных ледовых разведок и относительно невысокой отечественной

технологией спутниковых наблюдений качество исходной информации о состоянии ледяного покрова не всегда удовлетворительно. Это неизбежно сказывается на надежности идентификации начальных ледовых условий.

Зависимость изменчивости сроков замерзания акватории от синхронных метеорологических процессов синоптического характера приводит к уменьшению оправдываемости прогнозов при увеличении их заблаговременности.

Испытываемый метод позволяет прогнозировать сроки устойчивого ледообразования в узлах регулярной сетки в северо-восточной части Карского моря заблаговременностью более 1 месяца. Метод характеризуется достаточной эффективностью по сравнению с климатическими оценками.

Учитывая результаты проведенных испытаний, Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета в своем решении от 25 июня 2010 года одобрила работу ГУ «ААНИИ» по созданию метода долгосрочного прогноза сроков устойчивого ледообразования в северо-восточной части Карского моря.

Комиссия рекомендовала ГУ «ААНИИ»:

- внедрить метод долгосрочного прогноза сроков устойчивого ледообразования в северо-восточной части Карского моря в оперативную практику ГУ «ААНИИ» в качестве основного;

- обеспечить своевременную передачу методических прогнозов в Северное и Мурманское УГМС для эффективного использования в оперативно-прогностической практике;

- продолжить работу по усовершенствованию метода с учетом высказанных на ЦМКП замечаний и включить карту изохрон ледообразования для Карского моря в официальный долгосрочный прогноз ГУ «ААНИИ» ледовых условий в арктических морях на вторую половину навигации, начиная с августа 2010 года.

Список литературы

1. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Часть III. Служба морских гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 143 с.

МЕТОД ПРОГНОЗА СРОКОВ ОКОНЧАТЕЛЬНОГО РАЗРУШЕНИЯ ПРИПАЯ В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ ДО ОДНОГО МЕСЯЦА

В статье дана характеристика припая Восточно-Сибирского моря в период разрушения. Изложен разработанный в ГУ «ААНИИ» метод прогноза сроков окончательного разрушения припая в Восточно-Сибирском море заблаговременностью до одного месяца. Метод основан на использовании физико-статистических регрессионных уравнений и автоматической информационной программы "ПЕГАС". Метод базируется на данных ИСЗ, ледовых обзорных и региональных карт ААНИИ, наблюдений на полярных станциях. По регрессионным уравнениям дата прогноза определяется в сутках, прогноз с использованием программы «Пегас» – с точностью до декады. Прогноз с точностью до декады может быть уточнен по регрессионному способу.

Оправдываемость прогнозов сроков окончательного разрушения припая в 2007–2009 гг. при оценке $0,674\sigma$ в среднем по всем районам составила 83 %, а эффективность – 26 % при средней природной обеспеченности по районам 57 % (от 50 до 68%).

Обсудив методические основы и учитывая результаты проведенных испытаний метода, Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета в решении от 25 июня 2010 года рекомендовала ГУ «ААНИИ» внедрить метод прогноза сроков окончательного разрушения припая в Восточно-Сибирском море заблаговременностью до одного месяца в оперативную практику в качестве основного.

В ГУ «ААНИИ» разработан метод прогноза сроков окончательного разрушения припая в Восточно-Сибирском море заблаговременностью до одного месяца. Метод основан на использовании физико-статистических регрессионных уравнений и автоматической информационной программы "ПЕГАС". Метод базируется на данных ИСЗ, ледовых обзорных и региональных карт ААНИИ, наблюдений на полярных станциях.

Характеристика припая в Восточно-Сибирском море в период разрушения

В Восточно-Сибирском море формируется самый обширный в арктических морях припай. По данным ИСЗ за период 1979–2009 гг. его площадь перед началом разрушения колеблется в пределах 154–355 тыс. км², что составляет от 20 до 46 % от площади моря. Спутниковые наблюдения позволяют проводить регулярный сезонный мониторинг

распространения припая в море от момента его становления до разрушения. Ежедекадно по ледовым картам, составляемым в ГУ «АНИИ», определяется площадь припая в Восточно-Сибирском море и его ширина на 29 створах. Схема расположения створов представлена на рис. 1.

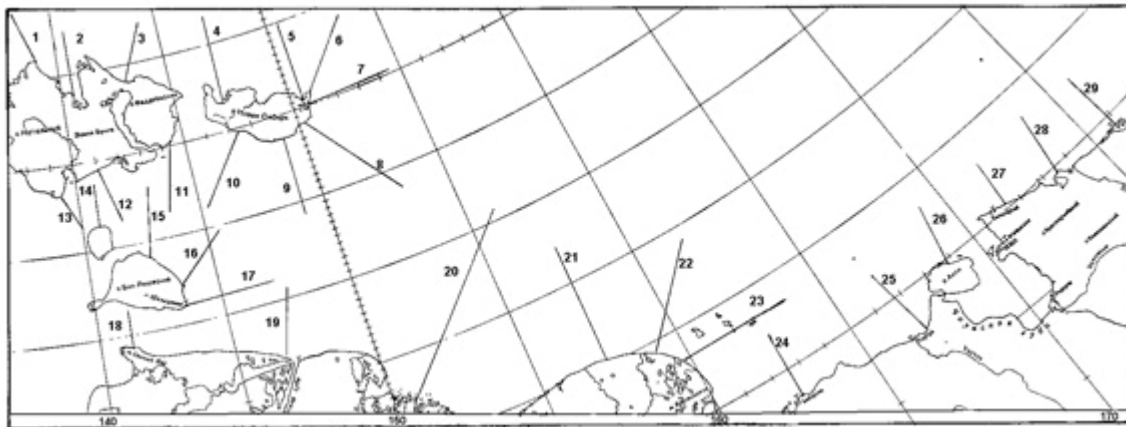


Рис. 1. Схема расположения створов в Восточно-Сибирском море.

Припай в Восточно-Сибирском море начинает разрушаться в прикромочной зоне в среднем в конце мая – начале июня. Окончательное разрушение припая (распадение его на дрейфующие поля) зависит от степени его развития в осенне-зимний период. При максимальной площади припая его окончательное разрушение происходит во второй декаде августа, при минимальном развитии припая – в начале июля. Таким образом, многолетний разброс сроков окончательного взлома припая в Восточно-Сибирском море составляет около полутора месяцев.

При величине площади близкой к средней (с вероятностью 50 %) припай окончательно разрушается в конце июля. Пространственное расположение границ припая в период его разрушения представлено на рис. 2.

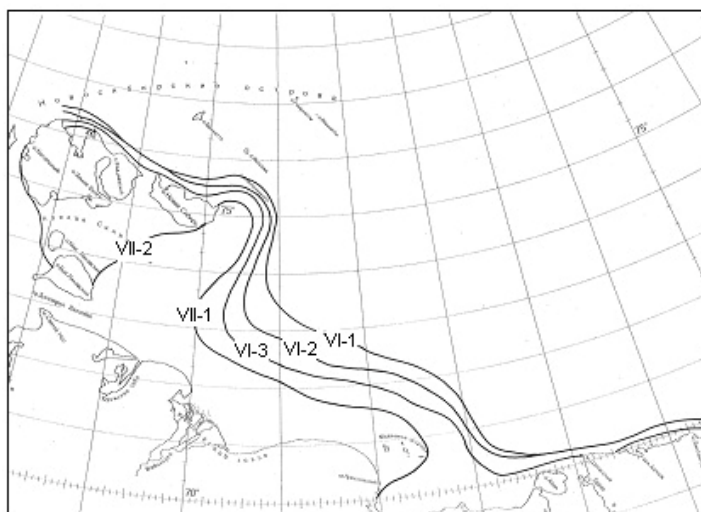


Рис. 2. Расположение границ припая в Восточно-Сибирском море с вероятностью 50 % в период его разрушения.

В июне граница припая отступает сравнительно медленно. Большая часть припая разрушается и становится дрейфующим льдом в течение июля. На подходах к проливу Санникова и в самом проливе его площадь остается неизменной до первой декады июля включительно. В течение второй – начале третьей декады июля припай быстро разрушается. Его толщина вследствие влияния радиационного и адвективного тепла уменьшается до 40–70 см [1, 2].

В результате многолетних наблюдений за припаем в стадии разрушения (в период визуальных авиационных разведок 1949–1979 гг.) в арктических морях были выделены районы с условными границами, отличающиеся по характеру взлома припая и срокам окончательного его разрушения [1]. Нумерация районов начинается с морей Карского и Лаптевых. В Восточно–Сибирском море выделено семь естественных однородных районов взлома припая (рис. 3).

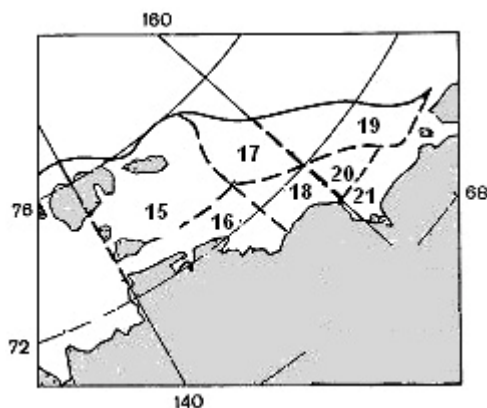


Рис. 3. Границы и номера естественных однородных районов взлома припая в Восточно-Сибирском море.

Размах сроков окончательного взлома припая составляет около одного месяца (табл. 1). Исключением являются районы 17 и 19. В этих прикромочных районах взлом припая может начаться под влиянием динамических факторов (ветер, дрейф льда) до начала таяния льда. В некоторые годы припай в этих районах совсем не формируется.

Таблица 1

**Характеристика сроков взлома припая в районах Восточно-Сибирского моря
за период 1980–2007 гг.**

Район	Срок взлома			Размах колебаний, сутки	σ, сутки	0,674σ, сутки	0,8σ, сутки
	ранний	поздний	средний				
15	06.07	03.08	22.07	28	8	5,4	6,4
16	03.07	31.07	19.07	28	7	4,7	5,6
17	02.06	07.08	17.07	66	14	9,4	11,2
18	24.06	31.07	17.07	37	9	6,1	7,2
19	23.05	30.07	01.07	67	16	10,8	12,3
20	28.06	29.07	14.07	31	8	5,4	6,4
21	21.06	27.07	09.07	36	9		
Пролив Санникова	07.07	09.08	22.07	33	8	5,4	6,4

Примечание: σ – стандартное отклонение срока разрушения припая в районе

Из табл. 1 видно, что в крайних западных районах (15 и 16) наиболее ранние сроки взлома припая приходятся на июль, а в восточных и прибрежных районах (18, 20 и 21) – на июнь. Это обстоятельство следует иметь в виду при подборе предикторов, обеспечивающих заблаговременность прогноза 15–30 суток. Они должны относиться к периоду не позже июня – для западных районов и не позже мая – для восточных районов.

Наиболее важными в навигационном отношении являются ледовые условия на подходах к проливам Санникова и Дм. Лаптева (районы 15, 16) и районы подходов к бару реки Колымы (районы 20, 21). Как можно видеть из табл. 1, взлом припая в районе 21 в среднем на две недели опережает это явление в районе 15, и, при достаточно высокой связи между этими районами, фактическую дату взлома припая в районе 21 можно использовать в качестве аргумента для прогноза даты взлома припая в районе 15. Для этого необходимо отслеживать дату взлома припая в районе 21, начиная с ранней даты.

Регрессионный метод прогноза сроков окончательного разрушения припая

Известно [1], что температура воздуха является одним из основных факторов, определяющим сроки взлома припая. Как показал анализ, наибольшее влияние на взлом припая в районах 15 и 16 оказывает среднемесячная температура воздуха в июне на станции

Шалаурова (коэффициенты корреляции составляют 0,70 и 0,68 соответственно). К сожалению, эта станция закрыта, и данные за последние годы снимались с карт или восстанавливались по данным станции Кигилях, расположенной с западной стороны острова Бол. Ляховский. Это же относится к полярной станции Четырехстолбовая, которая закрыта в 1995 году и которая наиболее репрезентативна для прогноза сроков взлома припая в районах на подходах к бару реки Колымы (коэффициенты корреляции от $-0,65$ до $-0,70$).

В целом для моря сроки окончательного разрушения припая зависят от общей площади припая. Однако в отдельных районах сопоставление сроков взлома припая с площадью припая не показало значимой связи. В тоже время связь сроков взлома припая в районах 15 и 16 с шириной припая на створе 17 в первой (для района 15) и третьей (для района 16) декадах июня оказалась значимой и характеризуется коэффициентом корреляции 0,45. Такого же порядка величина коэффициента корреляции между сроками взлома припая в районах 20 и 21 и шириной припая на створах 22 и 23. Поэтому ширина припая использовалась в качестве аргумента в прогностических уравнениях. Кроме того, сроки взлома припая в районе 15 связаны с фактической датой взлома припая в районе 21, что уже отмечалось выше. С использованием перечисленных аргументов были получены уравнения для прогноза сроков разрушения припая в районах 15, 16 и 20, 21.

Уравнения и их обеспеченность представлены в табл. 2, 3. Как показывает анализ обеспеченности прогностических уравнений, наибольшую роль в изменчивости сроков взлома припая играет температура воздуха. Введение в уравнения дополнительных аргументов ненамного увеличивает методическую обеспеченность. Наиболее высокая обеспеченность имеет прогностическое уравнение для района 15. Это объясняется использованием в качестве аргумента фактической даты взлома припая в районе 21, который косвенно характеризует процесс взлома припая в море под влиянием тепловых и динамических факторов. Эффективность прогностических уравнений (при оценке $\pm 0,674\sigma$) колеблется в пределах 11–25 %, что позволяет считать полученные результаты удовлетворительными.

Использование автоматической информационной программы («Пегас») для прогноза сроков окончательного разрушения припая в Восточно-Сибирском море

Автоматическая программа «Пегас» давно успешно используется для прогнозов ледовитости и площадей ледяных массивов в арктических морях. Попытка использовать программу для прогноза сроков окончательного взлома припая предпринимается впервые.

Основным назначением программы является исследование информативности различных гидрометеорологических полей для построения расчетных и прогностических моделей. Она позволяет исследовать информативность как точечных измерений (например данные одной полярной станции), так и полей элементов, представленных в узлах сеточной области. При исследовании информативности полей предусмотрена процедура перехода от значений элемента в узлах сеточной области к разности значений между узлами. Это особенно важно при исследовании полей атмосферного давления, так как разность давления между различными узлами сеточной области имеет вполне определенный физический смысл: характеризует направление и интенсивность воздушных переносов [3, 4].

Для учета атмосферного давления используется сеточная область, приведенная на рис. 4.

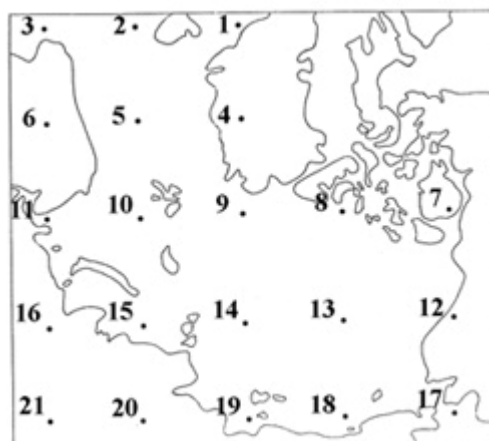


Рис. 4. Схема центров сеточной области для учета атмосферного давления.

Обязательным компонентом программы «Пегас» является информационная система, включающая архивы ледовой и гидрометеорологической информации. Наиболее удобной формой представления последней являются поля геопотенциала, атмосферного давления, температуры воды, воздуха, заданные в узлах сеточной области (или в отдельных точках таких, как полярные станции).

Программа позволяет оценивать статистическую связь коэффициентами корреляции; по заданному критерию игнорировать или учитывать аргумент; выбирать наиболее значимые аргументы; на основе элементарного дискриминантного анализа проводить обобщение всей информации и рассчитывать обобщенный показатель.

Обобщенный показатель P , представляющий собой сумму коэффициентов влияния K :

$$P = \sum K_i .$$

Значения K вычисляются по формуле: $K=U \cdot r^2$, где U – расчетное значение функции по уравнению регрессии; r^2 – квадрат частного коэффициента корреляции.

Аналогично получают обобщенные показатели для нескольких полей. В этом случае суммируются коэффициенты влияния характеристик всех анализируемых полей. Окончательное прогностическое уравнение имеет вид:

$$U = a \sum_{I}^n P + b,$$

где n – число учитываемых информационных полей.

Программа «Пегас» находит наиболее информативные створы для расчета разностей атмосферного давления, для учета воздушных переносов, влияющих на разрушение припая посредством как динамического, так и термического воздействия вследствие адвекции тепла или холода в районы припайной зоны.

Для нахождения информативных показателей и построения прогностических уравнений сроков взлома припая в районах Восточно–Сибирского моря были использованы ряды сроков взлома припая, поля среднемесячного приземного атмосферного давления с января по июнь месяцы и ряды среднемесячной температуры воздуха за апрель–июнь по близлежащим полярным станциям. Для Восточно–Сибирского моря использовались данные о температуре воздуха полярных станций Санникова, Шалаурова, Четырехстолбовая, Валькаркай. При разработке метода использовались данные за период 1980–2007 гг.

Результаты корреляционного анализа сроков окончательного припая с различными показателями барического поля и температурой воздуха на полярных станциях сведены в таблицы для отдельных районов морей. Для примера приводится таблица (табл. 4) для пролива Санникова (в таблице незначимые коэффициенты корреляции выделены курсивом).

В результате преобразования информативных показателей программа рассчитывает коэффициенты (A и B) и обобщенный показатель (P) для результирующих корреляционных уравнений для каждого из районов и производит расчет по этим уравнениям для каждого года анализируемого ряда сроков взлома припая. Пример расчета для пролива Санникова приведен на рис. 5, где представлен фрагмент таблицы, выдаваемой программой расчета. Таблица содержит коэффициенты корреляции результирующего прогностического уравнения (R), квадрат коэффициента корреляции (R^2), характеризующий степень учета уравнением изменчивости сроков взлома припая и обеспеченность расчетного уравнения. Фактические сроки взлома припая заданы в номерах декад: VI-1 – 1, VI-2 – 2,... VII-1 – 4 и

т.д. Как видно из таблицы, по мере накопления массива данных ежегодно изменяется только обобщенный показатель P , остальные аргументы не изменяются.

В табл. 5 представлен общий вид уравнений для прогноза сроков взлома припая в районах Восточно-Сибирского моря и их методическая обеспеченность и прогноз на 2007 год. Как можно видеть из этой таблицы, методическая обеспеченность уравнений для районов Восточно-Сибирского моря изменяется в пределах 78–92 %. Прогноз сроков взлома припая с точностью до декады во всех районах оправдался полностью.

Прогноз сроков взлома припая с использованием автоматической информационной программы «Пегас» представляется перспективным и предпочтительней других физико–статистических методов прогноза, поскольку позволяет привлекать для прогноза значительно большее количество информативных показателей.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции сроков взлома припая в проливе Санникова с показателями атмосферного давления и температурой воздуха

Показатели природной среды	Месяц	Створы, полярная станция	Коэффициенты корреляции
Атмосферное давление	январь	6	0,52
	февраль	9–13	0,34
	март	16	0,49
	апрель	6–9	–0,59
	май	13–14	–0,51
	июнь	1–5	0,23
Температура	апрель	Санникова	–0,55
	май		–0,72
	июнь		–0,67
	апрель	Шалаурова	–0,64
	май		–0,70
	июнь		–0,71
Температура	апрель	Четырехстолбовая	–0,52
	май		–0,48
	июнь		–0,29
Температура	апрель	Валькарай	–0,51
	май		–0,44
	июнь		–0,30

Аргументы уравнения и расчет сроков взлома припая в проливе Санникова

ГОДЫ	P	B	A	R	R^2	Факт	Расчет	Ошибка
1980	1.588	-5.901	7.555	.848	.719	6.000	6.098	-.098
1981	1.464					5.000	5.163	-.163
1982	1.626					6.000	6.382	-.382
1983	1.565					6.000	5.925	.075
1984	1.629					6.000	6.409	-.409
1985	1.623					6.000	6.360	-.360
1986	1.495					5.000	5.393	-.393
1987	1.555					6.000	5.845	.155
1988	1.541					5.000	5.742	-.742
1989	1.547					6.000	5.783	.217
1990	1.294					4.000	3.878	.122
1991	1.461					5.000	5.134	-.134
1992	1.556					6.000	5.852	.148
1993	1.445					5.000	5.013	.013
1994	1.561					6.000	5.895	.105
1995	1.486					5.000	5.325	-.325
1996	1.611					7.000	6.271	.729
1997	1.481					6.000	5.284	.716
1998	1.567					6.000	5.934	.066
1999	1.555					6.000	5.846	.154
2000	1.510					6.000	5.507	.493
2001	1.537					6.000	5.709	.291
2002	1.438					5.000	4.965	.035
2003	1.418					5.000	4.813	.187
2004	1.471					6.000	5.215	.785
2005	1.412					4.000	4.765	-.765
2006	1.488					5.000	5.342	-.342
2007	1.331					4.000	4.152	-.152

Рис. 5. Расчет сроков взлома припая в проливе Санникова

Таблица 5

Общий вид уравнений для прогноза сроков взлома припая в районах

Восточно-Сибирского моря и их обеспеченность, прогноз по программе «Пегас» на 2007 г.

Район	Расчетные уравнения	Обеспеченность метода, %	Прогноз на 2007 г.			
			P	Прогноз	Факт	Оценка прогноза, %
Пролив Санникова	$D_{\text{взл}}=7,555 \cdot P+(-5,901)$	90	1,331	4,2 (VII-1)	4 (VII-1)	100
15	$D_{\text{взл}}=10,410 \cdot P+(-6,861)$	85	1,074	4,3 (VII-1)	4 (VII-1)	100
16	$D_{\text{взл}}=13,265 \cdot P+(-7,022)$	82	0,842	4,15 (VII-1)	4 (VII-1)	100
18	$D_{\text{взл}}=6,986 \cdot P+(-4,746)$	85	1,182	3,5 (VII-1)	4 (VII-1)	100
20	$D_{\text{взл}}=5,442 \cdot P+(-3,923)$	92	1,263	2,95 (VI-3)	3 (VI-3)	100
21	$D_{\text{взл}}=7,571 \cdot P+(-4,426)$	78	0,905	2,42 (VI-2)	2 (VI-2)	100

Примечание: Сроки взлома припая заданы в номерах декад: первая декада июня (VI-1) – 1; вторая декада июня (VI-2) – 2; ... третья декада июля (VII-3) – 6.

Результаты испытания метода прогноза окончательного разрушения припая по данным ИСЗ в Восточно-Сибирском море заблаговременностью 15–30 суток

Формирование и разрушение припайных льдов является важной режимной особенностью арктических морей России. Известно, что припай активно используется в хозяйственной деятельности в Арктике (выгрузка грузов), а также влияет на судоходство во льдах и служит показателем климатических изменений. Поэтому сроки разрушения припая являются важным прогностическим ориентиром для планирования морских, экономических и исследовательских мероприятий.

Сроки взлома определяются: исходной толщиной ледяного покрова к концу зимы, сроками начала таяния льдов, воздушными переносами после момента начала таяния; однако наибольшее влияние оказывает среднемесячная температура воздуха в мае–июне, которая определяет интенсивность стаивания толщины ледяного покрова.

Прогноз представляется в виде обобщенной таблицы, в которой приведены ожидаемые сроки окончательного разрушения припая для данной ледовой зоны.

При необходимости используются данные об ожидаемой температуре воздуха на основе метеорологического прогноза ГУ «ААНИИ». Реперными полярными станциями являются: Санникова, Шалаурова, Четырехстолбовая, Валькаркай. Заблаговременность прогноза составляет не менее 15–30 суток.

Испытания метода прогноза окончательного разрушения припая проводились в отделе ледового режима и прогнозов ГУ "ААНИИ". Период испытаний: май–июнь 2007 г. – май–июнь 2009 г. Прогнозы составлялись и оценивались для районов Восточно-Сибирского моря. Предметом прогноза являются сроки окончательного разрушения припая в четырех естественных районах моря, которые являются наиболее важными в навигационном отношении – на подходах к проливам Санникова и Дм. Лаптева (15, 16) и районы подходов к бару реки Колымы (районы 20, 21). Границы районов были установлены в период визуальных ледовых авиационных разведок, проводимых в период 1949-1991 гг. Площади выделенных районов, сроки окончательного разрушения припая были уточнены по данным ИСЗ.

Методика прогноза основана на физико-статистическом подходе, при котором статистическая связь между предиктантом и предикторами обосновывается физически, и предусматривает разработку прогноза двумя способами:

- на основе уравнений регрессии с определенными аргументами;

– с использование автоматической информационной программы («Пегас»), которая подбирает наиболее информативные аргументы по мере накопления их архива данных.

Прогнозы на основе двух представленных способов дополняют друг друга. По регрессионным уравнениям дата прогноза определяется в сутках, прогноз с использованием программы «Пегас» – с точностью до декады. Прогноз с точностью до декады может быть уточнен по регрессионному способу.

Всего за период испытаний (2007–2009 гг.) было составлено 24 прогноза сроков окончательного разрушения припая (по 12 прогнозов каждым способом). Прогноз представляет собой две сводные таблицы, в которых приведены ожидаемые даты (декады) окончательного разрушения неподвижного ледяного покрова в районах моря и оценка их оправдываемости.

В табл. 6 приведены результаты оценки оправдываемости прогнозов сроков окончательного разрушения припая в районах Восточно-Сибирского моря за 2007–2009 гг., составленных регрессионным способом. Как следует из таблицы, из 12 прогнозов два не оправдались по величине, хотя оба прогноза оправдались по знаку, то есть тенденция к раннему взлому припая в обоих случаях учтена правильно.

Оправдываемость прогнозов оценивалась согласно Наставлению [5]. При прогнозе срока разрушения припая в конкретном районе прогноз считался оправдавшимся, если его ошибка не превышала или была равна $0,674\sigma$. Оправдываемость прогнозов сроков окончательного разрушения припая в 2007–2009 гг. при оценке $\pm 0,674\sigma$ в среднем по всем районам составила 83 %, эффективность – 26 % при средней природной обеспеченности по районам 57 % (от 50 до 68 %).

Таблица 6

Оценка оправдываемости прогноза сроков окончательного разрушения припая в районах Восточно-Сибирского моря в 2007–2009 гг. регрессионным способом

Район	2007 г.			2008 г.			2009 г.		
	прогноз	факт	Оценка прогноза, %	прогноз	факт	Оценка прогноза, %	прогноз	факт	Оценка прогноза, %
15	5.07	11.07	100	20.07	25.07	100	16.07	21.07	100
16	12.07	01.07	0	10.07	16.07	100	14.07	20.07	100
20	03.07	28.06	100	04.07	09.07	100	02.07	15.07	0
21	29.06	23.06	100	04.07	07.06	100	02.07	08.07	100
	Средняя оценка		75	Средняя оценка		100	Средняя оценка		75
Средняя оправдываемость за 2007–2009 гг.							83 %		
Средняя эффективность за 2007–2009 гг.							26 %		

В табл. 7 приведены результаты оценки прогнозов сроков окончательного разрушения припая, составленных с помощью автоматической информационной программы («Пегас»)

Таблица 7

**Оценка оправдываемости прогноза сроков взлома припая в районах
Восточно-Сибирского моря в 2007–2009 гг. с помощью автоматической информационной
программы «Пегас»**

Район	2007 г.			2008 г.			2009 г.		
	прогноз	факт	Оценка прогноза, %	прогноз	факт	Оценка прогноза, %	прогноз	факт	Оценка прогноза, %
15	4,3 (VII-1)	4 (VII-1)	100	5,6 (VII-3)	6 (VII-3)	100	5,2 (VII-2)	5 (VII-3)	100
16	4,15 (VII-1)	4 (VII-1)	100	5 (VII-2)	5 (VII-2)	100	5 (VII-2)	5 (VII-2)	100
20	2,95 (VI-3)	3 (VI-3)	100	4,5 (VII-1)	4 (VI-1)	100	4 (VII-1)	4 (VII-1)	100
21	2,42 (VI-2)	2 (VI-2)	100	3,5 (VII-1)	3 (VI-1)	100	3,5 (VII-1)	4 (VII-1)	100
	Средняя оценка 100			Средняя оценка 100			Средняя оценка 100		

Из 12 прогнозов, разработанных с помощью программы «Пегас» с точностью до декады, оправдались все прогнозы, оправдываемость составила 100 % при средней обеспеченности метода 84 %.

Выводы

Оправдываемость физико-статистического метода прогноза зависит от качества исходной информации, надежности идентификации начальных условий к моменту составления прогноза в конце зимнего периода и точности ожидаемого изменения метеорологических условий после начала таяния льдов. В связи с ухудшением в последние годы надежности данных наблюдательной сети и ее сокращения, прекращением авиационных ледовых разведок качество исходной информации о состоянии ледовых и гидрометеорологических условий не всегда удовлетворительно. Это неизбежно сказывается на точности разрабатываемых прогнозов.

Испытываемый метод позволяет прогнозировать сроки окончательного разрушения припая в естественных районах Восточно-Сибирского моря заблаговременностью 15–30

суток. Метод характеризуется достаточной эффективностью по сравнению с климатическими оценками.

Обсудив методические основы и учитывая результаты проведенных испытаний метода, Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета в своем решении от 25 июня 2010 г. одобрила работу ГУ «ААНИИ» по созданию метода, позволяющего прогнозировать сроки окончательного разрушения припая в Восточно-Сибирском море с заблаговременностью до одного месяца. Комиссия рекомендовала ГУ «ААНИИ»:

– внедрить метод прогноза сроков окончательного разрушения припая в Восточно-Сибирском море заблаговременностью до одного месяца в оперативную практику в качестве основного;

– обеспечить своевременную передачу методических прогнозов в ГУ «Чукотское УГМС» для эффективного использования в оперативно-прогностической практике;

– продолжить работу по усовершенствованию метода с учетом высказанных на ЦМКП замечаний (построение равнений для действующих станций, при подготовке июньского прогноза использовать майские предикторы, в дальнейшем оба способа прогноза свести в один с выдачей прогноза дат).

Список литературы

1. Горбунов Ю.А., Карелин И.Д., Кузнецов И.М., Лосев С.М., Соколов А.Л. Основы физико-статистических методов ледовых прогнозов и расчетов для арктических морей заблаговременностью до 30 суток. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 288 с.

2. Гудкович З.М., Кириллов А.А., Ковалев Е.Г., Сметанникова А.В., Спичкин В.А. Основы методики долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 348 с.

3. Ковалев Е.Г., Николаев Ю.В. Применение дискриминантного анализа для долгосрочного прогноза ледовитости арктических морей // Труды ААНИИ. – 1976. – Т. 320. – С. 4–26.

4. Ковалев Е.Г., Юлин А.В. Автоматизированная прогностическая система для целей научно-оперативного обеспечения навигации в Арктике // Труды ААНИИ. – 1998. – Т. 438. – С. 73–82.

5. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Часть III. Служба морских гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 143 с.

Аргументы и уравнения для прогноза сроков окончательного взлома припая и их оценка в районах 15 и 16

Район	Аргументы	Уравнение	Оценка	Обеспеченность, %			Эффективность, %
				методическая		климатическая	
				по величине	по знаку	по величине	
15	Температура воздуха в июне на п/с Шалаурова (T_{VI}), °C	$D_{15}=31,65-1,85T_{VI}+0,55D_{21}+0,004L_{17}$	0,8σ	93	82	68	25
	Дата взлома припая в районе 21 (D_{21})		0,674σ	82		57	25
	Ширина припая на створе 17 в первой декаде июня (L_{17}), км	$D_{15}=55,03-3,73T_{VI}$	0,8σ	75	68	68	7
	Температура воздуха в июне на п/с Шалаурова (T_{VI}), °C		0,674σ	71		57	14
16	Температура воздуха в июне на п/с Шалаурова (T_{VI}), °C	$D_{16}=45,76-3,47T_{VI}+0,004L_{17}$	0,8σ	78	75	57	21
	Ширина припая на створе 17 в третьей декаде июня (L_{17}), км		0,674σ	68		50	18
	Температура воздуха в июне на п/с Шалаурова (T_{VI}), °C	$D_{16}=50,34-3,87T_{VI}$	0,8σ	75	64	57	18
			0,674σ	64		50	14

Таблица 3

Аргументы и уравнения для прогноза сроков окончательного взлома припая и их оценка в районах 20 и 21

Район	Аргументы	Уравнение	Оценка	Обеспеченность, %			Эффективность, %
				методическая		климати- ческая	
				по величине	по знаку	по величине	
20	Температура воздуха в мае на п/с Четырехстолбовая (T_V), °С	$D_{20}=24,47-2,28T_V+0,03L_{22}$	0,8σ	75	64	68	7
	Ширина припая на створе 22 в первой декаде июня (L_{22}), км		0,674σ	68		57	11
	Температура воздуха в мае на п/с Четырехстолбовая (T_V), °С	$D_{20}=28,04-2,62T_V$	0,8σ	68	68	68	0
			0,674σ	57		57	0
21	Температура воздуха в мае на п/с Четырехстолбовая (T_V), °С	$D_{16}=21,67-2,0T_V+0,022L_{23}$	0,8σ	78	71	64	11
	Ширина припая на створе 23 в первой декаде июня (L_{23}), км		0,674σ	68		54	12
	Температура воздуха в мае на п/с Четырехстолбовая (T_V), °С	$D_{16}=24,94-2,31T_V$	0,8σ	75	71	64	7
			0,674σ	64		54	10

**МЕТОД И ТЕХНОЛОГИЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА
ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ И ВОЗНИКАЮЩИХ ВО ВРЕМЯ НИХ
ОПАСНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ
В УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ АМУРА И В САХАЛИНСКОМ ЗАЛИВЕ
(ГУ «ДВНИГМИ», авторы – Ю.В. Любичкий, Е.М. Вербицкая);
РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ МЕТОДА**

Приведено описание автоматизированного метода краткосрочного прогноза штормовых нагонов и возникающих во время них опасных гидрологических явлений в устьевой области Амура и в Сахалинском заливе с максимальной заблаговременностью на основе использования стандартной оперативной информации повышение качества обслуживания народнохозяйственных организаций штормовыми предупреждениями.

Метод ориентирован на повышение качества обеспечения штормовыми предупреждениями отраслей экономики. Расчет штормовых нагонов производится на основе прогностической продукции приземного атмосферного давления и ветра гидродинамической модели атмосферы, адаптированной для Дальневосточного региона, с учетом стока р. Амур, а также фоновых уровней моря (прилегающих акваторий Охотского и Японского морей). В методе учитываются гармонические постоянные основных волн прилива в береговых пунктах, сведения о ледовой обстановке на устьевом участке Амура, в Амурском лимане и Сахалинском заливе.

Прогноз штормовых нагонов и возникающих во время них опасных гидрологических явлений в устьевой области Амура и в Сахалинском заливе является одной из ключевых технологических задач.

Цель работы – создание автоматизированного метода краткосрочного прогноза штормовых нагонов и возникающих во время них опасных гидрологических явлений в устьевой области Амура и в Сахалинском заливе с максимальной заблаговременностью с использованием стандартной оперативной информации.

На гидрологический режим Амура в его устьевой части значительное влияние оказывают такие факторы, как речной сток, разность фонового уровня моря на морских границах устьевого взморья, наличие ледяного покрова, скорость и направление ветра, величина приливной волны, вызывающие сгонно-нагонные и приливо-отливные явления.

Влияние стока Амура на приливной режим Амурского лимана рассматривалось в работе Ю.В. Любичского [5]. На примере пункта м. Пронге, расположенного на границе устьевого участка и взморья Амура, было установлено, что зависимость приливного режима от стока существует.

Колебания уровня воды Амура у г. Николаевск-на-Амуре имеют годовой цикл и характеризуются существованием двух максимумов и двух минимумов, обусловленных колебаниями речного стока. Первый минимум соответствует зимней межени, второй – летней межени. Максимумы уровня соответствуют весеннему половодью и летне-осеннему паводку.

Приливо-отливные колебания уровня и связанные с ними течения скрадывают квазиустановившийся гидрологический режим устьевого участка Амура. Вверх по реке приливы, затухая, распространяются в зависимости от водности реки и проникают до 300 км в период межени [3].

Для эффективной и безопасной работы отраслей экономики необходимо обеспечение своевременного предупреждения нагонных явлений с большой заблаговременностью. В настоящее время имеется много типов моделей стока, их характер изменяется в широком диапазоне – от простейших точечных моделей до распределительных с десятками параметров и сотнями пространственных элементов, которые в конечном итоге определяют заблаговременность получаемой основы, ее качество и информационную ценность. Большинство этих моделей создано для рек Европейской территории России.

Данное исследование ориентировано на Амурский Лиман, в режиме которого преобладают сгонно-нагонные и приливо-отливные явления. Разрабатываемый метод предназначен для составления краткосрочного прогноза (с заблаговременностью до трех суток) стихийного гидрометеорологического явления, возникающего в устьевого участка р. Амур. Это экстремальные штормовые нагоны, вызывающие подтопление хозяйственных объектов в населенных пунктах Озерпах, Нижнее Пронге, Николаевск-на-Амуре, о. Байдуков [4], а также формирующиеся во время нагонов другие опасные гидрологические явления: волнение моря, взлом припая на материковом побережье Амурского лимана, выход воды на лед на устьевом участке Амура при сплошном ледоставе.

Гидрографическое описание

Амур впадает в Амурский лиман в северной части Татарского пролива между материком и северной частью о. Сахалин. Гидрологический пост в устьевого участка Амура расположен у г. Николаевск-на-Амуре на левом берегу в 48 км от устья.

Устьевое взморье Амура представляет собой канал, соединяющий Охотское и Японское моря. Величина речного стока определяет опресненность устьевого взморья, дальность проникновения соленых вод вверх по реке и стратификацию вод взморья. Приливные волны, проникающие в Амурский лиман со стороны как Охотского, так и Японского морей, трансформируются и проникают высоко вверх по реке, оказывая влияние как на скоростной, так и на урочный режим устьевого области. Сгонно-нагонные явления, создавая дополнительный уклон уровней, в основном, усиливают влияние какого-либо одного из морей.

В табл. 1 приведен список действующих станций и постов в рассматриваемом районе. При нагонах воды выше указанных в табл. 1 отметок в сочетании с сильным ветром и высоким волнением отмечались затопления домов, разнос дров, лодок, повреждение метеорологических площадок и другие неблагоприятные явления (1983, 1994 гг.).

В пос. Пронге 6 октября 1983 года при уровне воды 221 см был разрушен рыбозавод, смыто оборудование, разбит грузовой причал, флот выброшен на берег, повреждены линии связи.

Таблица 1

Список действующих станций и постов в рассматриваемом районе

Пост	Период действия		Уровень моря над нулем поста, см (отметка ОЯ)		Волнение, м	Населенный пункт
	открыт	закрыт	при нагонах выше	при сгонах ниже		
Богородское Амур	1932	действ.	400			с. Богородское
Николаевск Амур	1900	действ.	250			г. Николаевск-на-Амуре, с. Красное, с. Маго, с. Чныррах
о. Байдуков Амурский лиман-	1913	действ.	230	-15	3,0	пос. Байдуков
м. Озерпах	1978	действ.	140	-60		пос. Озерпах
м. Пронге	1913	действ.	140	-15	1,5	пос. Пронге, с. Алексеевка
м. Джаоре	1914	действ.	180	0		пос. Джаоре
м. Лазарева	1957	действ.	210	-30		пос. Лазарев

В результате анализа и обобщения режимного и статистического материалов исторических наблюдений установлено, что в устьевой области Амура экстремальные штормовые нагоны наблюдались в августе–декабре, в другие месяцы они не возникали ввиду значительного развития ледяного покрова или недостаточной циклонической

деятельности.

Обоснование метода прогноза

Метод базируется на двумерной нелинейной нестационарной численной гидродинамической модели расчета штормовых нагонов, в которой в качестве вынуждающих факторов используется прогностическая продукция (поля приземного атмосферного давления и ветра) региональной гидродинамической модели атмосферы, адаптированной для прогноза полей метеорологических элементов на территории Дальневосточного региона. При выполнении методических расчетов учитываются сток Амура, фоновые уровни моря прилегающих акваторий Охотского и Японского морей, гармонические постоянные основных волн прилива в береговых пунктах, сведения о ледовой обстановке на устьевом участке Амура, в Амурском лимане и Сахалинском заливе. Заблаговременность прогноза – до 48 ч.

Метод работает полностью в автоматическом режиме. Прогноз составляется два раза в сутки: в сроки 00 и 12 ч ВСВ. В технологию по мере готовности поступает оперативная морская и гидрологическая информация: результаты дешифрирования сведений о наблюдаемых ледовой обстановке на устьевом участке Амура, в Амурском лимане и Сахалинском заливе, величине стока Амура, поступающих по каналам связи с сети Дальневосточного УГМС.

Выходная продукция метода прогноза включает:

- автоматически составленный текст информационного сообщения о результатах прогноза (интенсивность ожидаемого нагона, возможность и время превышения уровнем моря критических отметок в береговых пунктах, сведения об ожидаемой высоте волнения, возможности взлома припая в Амурском лимане и/или выходе воды на лед на устьевом участке Амура при сплошном ледоставе);
- ежечасные и максимальные значения суммарного (наблюдаемого) уровня моря, его нагонной и приливной составляющей в береговых пунктах.

Результаты оперативных испытаний

Штормовые нагоны

Так как значительные штормовые нагоны в устьевой области Амура и в Сахалинском заливе возникают только осенью и в начале зимы, метод прогноза испытывался в период с 10 сентября по 31 декабря 2009 г. За данный период были составлены 164 прогноза.

- 1) В рамках 145 прогнозов было получено, что в исследуемом районе не ожидается

возникновение штормового нагона. Составленное автоматически информационное сообщение имеет вид:

ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ

(__ ч ВСВ)

В САХАЛИНСКОМ ЗАЛИВЕ И АМУРСКОМ ЛИМАНЕ

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ШТОРМОВОГО НАГОНА НЕ ОЖИДАЕТСЯ.

2) Для 18 прогнозов было получено, что в Амурском лимане и Сахалинском заливе возможно возникновение штормового нагона небольшой величины, при этом затопление хозяйственных и жилых объектов не ожидается. Так как штормовые нагоны в исследуемом районе обычно имеют продолжительность несколько суток, составленные прогнозы характеризуют пять штормовых ситуаций (табл. 2).

Таблица 2

Штормовые ситуации с продолжительными нагонами в Амурском лимане и Сахалинском заливе

Штормовая ситуация	Количество прогнозов	Максимальная прогнозируемая высота нагона, см						
		Байдужов	Озергах	Пронге	Джаоре	Лазарева	Николаевск	Москальво
10.09–13.09	4	59	34	47	63	56	22	59
27.10–02.11	7	84	53	68	85	59	34	91
05.11–08.11	3	71	41	49	63	49	26	112
16.11–18.11	2	66	35	36	32	24	–	42
24.11–26.11	2	57	37	38	37	26	–	59

Пример информационного сообщения для прогноза, составленного в 12 ч ВСВ 29.10.2009 года:

ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ

ОЖИДАЕМЫЙ ШТОРМОВОЙ НАГОН В САХАЛИНСКОМ ЗАЛИВЕ

И АМУРСКОМ ЛИМАНЕ БУДЕТ ИМЕТЬ ОТНОСИТЕЛЬНО НЕБОЛЬШУЮ

ВЕЛИЧИНУ (50–100 СМ).

МАКСИМАЛЬНЫЕ УРОВНИ МОРЯ(ВОДЫ) НАД НУЛЯМИ ПОСТОВ:

О. БАЙДУКОВА 201 СМ

ОЗЕРПАХ 90 СМ

М. ПРОНГЕ 120 СМ

НИКОЛАЕВСК-НА-АМУРЕ 145 СМ

МОСКАЛЬВО 270 СМ

ПРЕВЫШЕНИЕ УРОВНЕМ КРИТИЧЕСКИХ ОТМЕТОК В БЕРЕГОВЫХ
ПУНКТАХ НЕ ОЖИДАЕТСЯ.

ОЖИДАЕТСЯ ВОЛНЕНИЕ ВЫСОТОЙ:

В РАЙОНЕ О. БАЙДУКОВА – 1,0–2,0 М,

В АМУРСКОМ ЛИМАНЕ – 0,5–1,0 М.

3) В прогнозе от 00 ч ВСВ 06 ноября 2009 г. указано, что ожидается превышение над уровнем моря критической отметки в пункте Москальво (восточное побережье Сахалинского залива). По прогнозу это превышение должно составлять 2 см и наблюдаться в течение одного часа:

ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ

ОЖИДАЕМЫЙ ШТОРМОВОЙ НАГОН В САХАЛИНСКОМ ЗАЛИВЕ
И АМУРСКОМ ЛИМАНЕ БУДЕТ ИМЕТЬ ОТНОСИТЕЛЬНО НЕБОЛЬШУЮ
ВЕЛИЧИНУ (50–100 СМ).

МАКСИМАЛЬНЫЕ УРОВНИ МОРЯ(ВОДЫ) НАД НУЛЯМИ ПОСТОВ:

О.БАЙДУКОВА 245 СМ

ОЗЕРПАХ 73 СМ

М.ПРОНГЕ 99 СМ

НИКОЛАЕВСК-НА-АМУРЕ 134 СМ

МОСКАЛЬВО 352 СМ

**ОЖИДАЕТСЯ ПРЕВЫШЕНИЕ УРОВНЕМ КРИТИЧЕСКИХ ОТМЕТОК
И ПОДТОПЛЕНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ПУНКТАХ:**

МОСКАЛЬВО 12. 6 -12. 6,

НА УЧАСТКАХ АКВАТОРИИ, СВОБОДНЫХ ОТО ЛЬДА, ОЖИДАЕТСЯ ВОЛНЕНИЕ
ВЫСОТОЙ:

В РАЙОНЕ О.БАЙДУКОВА - 1,0-2,0 М,

В АМУРСКОМ ЛИМАНЕ - 0,5-1,0 М.

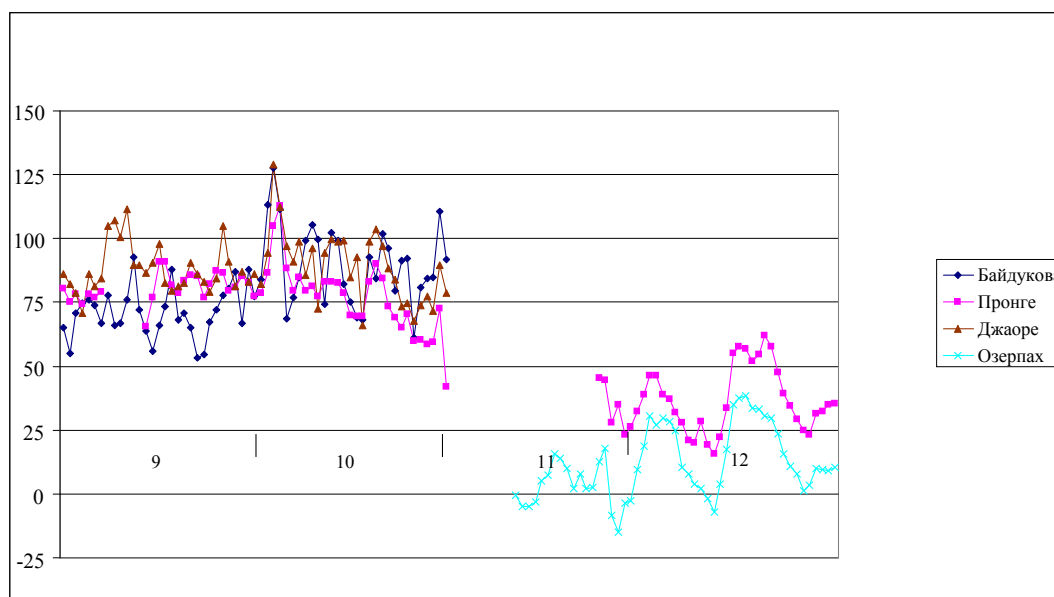
НА ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКАХ МАТЕРИКОВОГО ПОБЕРЕЖЬЯ
АМУРСКОГО ЛИМАНА ВОЗМОЖЕН ВЗЛОМ ПРИПАЯ.

Для оценки качества составленных прогнозов использовались материалы наблюдений

на береговых гидрометеорологических станциях и постах Дальневосточного УГМС. По состоянию на 1 марта 2010 года не поступила отчетность со станций Джаоре и Байдуков за декабрь 2009 года.

Оценить качество прогнозов для станции Москальво Сахалинского УГМС не представляется возможным, т.к. наблюдения над уровнем моря в данном пункте не производятся.

Наблюдениями над уровнем моря значительные штормовые нагоны в Амурском лимане не зафиксированы (рисунок). Оперативной информации о возникновении в пределах данного объекта значительных штормовых нагонов с морской береговой сети Дальневосточного УГМС в сентябре–декабре 2009 г., причинивших ущерб хозяйственным организациям и населению, не поступало. Поэтому можно сделать вывод, что в указанный период в Амурском лимане не было случаев формирования значительных штормовых нагонов, не предусмотренных методом прогноза.



Среднесуточные уровни моря в Амурском лимане в сентябре–декабре 2009 г.

Прогноз высоты ветрового волнения

В рамках составленных прогнозов при наличии соответствующих ледовых условий (отсутствие припая на всей акватории Амурского лимана) получен прогноз высоты волнения.

Прогноз высоты волнения составлен для трех штормовых ситуаций, так как 16 ноября 2009 г. и 23–24 ноября 2009 г. волнение не возникало из-за наличия льда. Результаты

сравнения высот волн по наблюдениям (измеряются визуально) и полученных по прогнозу приводятся в табл. 3. Высота наблюдаемых волн в Амурском лимане получена по измерениям в пунктах Озерпах, Пронге, Джаоре):

Таблица 3

**Высота волнения моря по материалам наблюдений в береговых пунктах
и полученная в рамках прогноза**

Штормовая ситуация	Район	Высота волн, м	
		по наблюдениям	по прогнозу
10–13 августа 2009 г.	о. Байдукова	1,0	1,0–2,0
	Амурский лиман	0,5–1,5	1,0–1,5
29 октября–2 ноября 2009 г.	о. Байдукова	1,25	1,0–2,0
	Амурский лиман	0,5–1,25	0,5–1,0
6–7 ноября 2009 г.	о. Байдукова	не измерялась из-за наличия льда	1,0–2,0
	Амурский лиман	0,75 (Пронге)	0,5–1,0

Примечание: в пунктах Озерпах и Джаоре наблюдения над волнением не производились из-за наличия льда.

Все прогнозы высоты волнения оправдались (в соответствии с требованиями морских гидрологических прогнозов [1,2] прогноз считается оправдавшимся, если высота ожидаемого волнения моря в одном и более береговых пунктах, расположенных в пределах некоторого объекта, отличается от фактически наблюдавшейся не более, чем на 30 % от ее действительного значения).

Прогноз взлома припая в Амурском лимане

В четырех прогнозах – от 00 ч ВСВ 05 ноября до 12 ч ВСВ 06 ноября 2009 г. получено, что ожидается взлом припая на отдельных участках побережья Амурского лимана:

ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ

**ОЖИДАЕМЫЙ ШТОРМОВОЙ НАГОН В САХАЛИНСКОМ ЗАЛИВЕ
И АМУРСКОМ ЛИМАНЕ БУДЕТ ИМЕТЬ ОТНОСИТЕЛЬНО НЕБОЛЬШУЮ
ВЕЛИЧИНУ (50-100 СМ).**

МАКСИМАЛЬНЫЕ УРОВНИ МОРЯ(ВОДЫ) НАД НУЛЯМИ ПОСТОВ:

О.БАЙДУКОВА 208 СМ

ОЗЕРПАХ 54 СМ

М.ПРОНГЕ 73 СМ

НИКОЛАЕВСК-НА-АМУРЕ 117 СМ

МОСКАЛЬВО 294 СМ

ПРЕВЫШЕНИЕ УРОВНЕМ КРИТИЧЕСКИХ ОТМЕТОК В БЕРЕГОВЫХ ПУНКТАХ НЕ ОЖИДАЕТСЯ.

НА УЧАСТКАХ АКВАТОРИИ СВОБОДНЫХ ОТ ЛЬДА ОЖИДАЕТСЯ ВОЛНЕНИЕ ВЫСОТОЙ:

В РАЙОНЕ О. БАЙДУКОВА - 1,0-2,0 М,

В АМУРСКОМ ЛИМАНЕ - 0,5-1,0 М.

НА ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКАХ МАТЕРИКОВОГО ПОБЕРЕЖЬЯ АМУРСКОГО ЛИМАНА ВОЗМОЖЕН ВЗЛОМ ПРИПАЯ.

Припай (светлый нилас) количеством 2 балла был полностью взломан 5 ноября в пункте м. Пронге. Составленный прогноз оправдался.

В пунктах Озерпах и м. Джаоре взлома припая не было.

Прогноз выхода волны на лед на устьевом участке Амура при сплошном ледоставе

Явление не прогнозировалось и по имеющимся данным наблюдений не возникало.

Заключение

1. В период испытания метода прогноза в Амурском лимане, как по наблюдениям, так и по составленным прогнозам, не были зафиксированы значительные штормовые нагоны, вызывающие затопление хозяйственных и жилых объектов. В этой части метод прогноза можно считать оправдавшимся, так как штормовые нагоны, не предусмотренные методом прогноза, не возникали.

2. Составленные прогнозы высоты волнения моря и о взломе припая 5–6 ноября 2009 года в Амурском лимане полностью оправдались.

Результаты испытаний полностью подтверждают состоятельность концепции и схемы модели прогноза, которая позволяет получать удовлетворительные прогнозы вероятности возникновения нагона. Качество прогноза удовлетворительное ($s/\sigma < 0,8$).

3. Метод, разработанный в ДВНИГМИ Ю.В. Любицким за период испытания показал удовлетворительную оправдываемость и может быть использован в оперативной работе отдела гидрологических прогнозов Хабаровского ЦГМС-РСМЦ.

Технология полностью автоматизирована, ориентирована на использование стандартной оперативной информации о стоке информационных постов из базы АРМ «Гидролога-оперативника», может быть использована для анализа сценариев и вероятного прогнозирования штормовых нагонов.

Работа, выполненная в 2009 году, является подготовительным этапом работ по модернизации, развитию и унификации технологических решений автоматизации краткосрочных прогнозов штормового нагона на акваториях Охотского моря и Сахалинского залива.

Испытания автоматизированного метода прогноза штормового нагона показали, что возможно получение прогнозов удовлетворительного и хорошего качества при условии соблюдения основных ограничений модели.

Важным преимуществом разработанной методики является ее пригодность для применения в прибрежных пунктах.

Рекомендации о внедрении

Технический совет Хабаровского ЦГМС-РСМЦ в своем решении от 24 марта 2010 г., обсудив результаты испытаний метода краткосрочного прогноза штормовых нагонов и возникающих во время них опасных гидрологических явлений в устьевой области Амура и в Сахалинском заливе, одобрил выполненную работу и рекомендовал внедрить метод в оперативную практику отдела гидрологических прогнозов Хабаровского ЦГМС-РСМЦ.

Список литературы

1. РД 52.27.284–91. Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрологических и гелиофизических прогнозов.
2. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Служба гидрологических прогнозов. Часть I. Прогнозы режима вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 193 с.
3. Рукопись ДВ УГМС: «Отчет о совместной экспедиции в устье реки Амур ДВНИГМИ и Амурской УС с 6 августа по 24 сентября 1978 г.». – Владивосток, 1978. – 486 с.
4. Рукопись ДВ УГМС: Козловский В.Б., Любицкий Ю.В. «Разработать схемы оптимального размещения береговых гидрометстанций и постов на морях СССР». – Хабаровск, 1980. – 44 с.
5. Рукопись ДВ УГМС: Любицкий Ю.В. «Отчет о НИР. Разработать и испы испытать метод краткосрочного прогноза штормовых нагонов на устьевом взморье р. Амур». – Хабаровск, 1991. – 125 с.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ И ПРОГНОЗА СРЕДНЕЙ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПО ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ, НОВОСИБИРСКОЙ, КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТЕЙ И АЛТАЙСКОГО КРАЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ОПЕРАТИВНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Изложены результаты испытаний новых методов оценки агрометеорологических условий формирования урожая и прогноза урожайности яровой пшеницы по территории Томской, Новосибирской, Кемеровской областей и Алтайского края, разработанных на основе динамико-статистического подхода. По результатам испытаний Технический Совет ГУ «Новосибирский ЦГМС-РСМЦ» рекомендовал новые методы к внедрению в качестве основных по всей территории Западно-Сибирского УГМС.

Методы количественной оценки агрометеорологических условий формирования урожая и прогноза средней урожайности яровой пшеницы для территории Томской, Новосибирской, Кемеровской областей и Алтайского края разработаны в лаборатории агрометеорологических исследований ГУ «СибНИГМИ» в 2003–2005 гг. на основе применения динамико-статистического подхода.

В современных условиях выбор динамико-статистического подхода для решения поставленных задач представляется наиболее приемлемым.

Хорошо обусловленные динамические модели, адаптированные для конкретных культур и природно-климатических условий их возделывания, обладают важными для практической агрометеорологии свойствами, главные среди которых – способность наиболее полно учесть комплекс факторов внешней среды, влияющих на продукционный процесс растений, и возможность с их помощью дать объективную количественную оценку, как всего комплекса факторов, так и отдельных его элементов, за любой отрезок времени и вегетационный период в целом относительно выбранного эталона.

Отечественной наукой достигнуты значительные успехи в разработке теоретической базы и прикладного динамического моделирования для целей агрометеорологического обеспечения производства сельскохозяйственных культур [1, 5]. В [1, 2, 4–10] изложены основополагающие приемы и виды практического применения динамико-статистических моделей для этих целей.

В качестве базового средства расчета необходимых параметров и характеристик в

представленной работе применен один из вариантов динамико-статистической модели продукционного процесса яровых злаковых культур «Погода–Урожай» с суточным разрешением [5, 9]. Выбор модели продиктован, прежде всего, условиями резкоконтинентального климата рассматриваемой территории: коротким вегетационным периодом, большой вероятностью значительных амплитуд колебаний величин метеорологических параметров за короткие временные отрезки, влияние которых на рост и развитие растений сложно учесть при меньшей детализации по времени.

Кроме того, как подчеркнуто в [10], за последние 10–15 лет существенно снизилась освещенность территории данными агрометеорологических наблюдений вследствие сокращения не только наблюдательной сети, но и объемов агрометеорологических наблюдений на сохранных станциях. Это, в свою очередь, требует создания информационно-прогностических методов, в которых недостаточная освещенность территории данными агрометеорологических наблюдений могла бы компенсироваться более детальным учетом метеорологических условий вегетационного периода.

Адекватное модельное отражение влияния изменений условий внешней среды на продукционный процесс яровой пшеницы в природно-климатических условиях юго-восточной части Западной Сибири достигнуто путем адаптации базовой модели на материалах агрометеорологических наблюдений и данных статистических управлений по каждому субъекту исследуемой территории.

Достигнуто удовлетворительное согласование рассчитанных и фактических величин средней урожайности яровой пшеницы (коэффициент корреляции 0,51–0,69) и запасов влаги по станциям на конец вегетации (коэффициент корреляции в метровом слое почвы составляет 0,41–0,51 при значимой величине на 5 %-ном уровне, равной 0,36) за период 1971–2000 гг. Средняя относительная ошибка расчета средней урожайности по независимым данным 2001–2005 гг. составляет от 5,0 до 15,8 %, а обеспеченность расчетов с ошибкой менее 20 % составляет 80–100 %.

Для расчета при помощи динамико-статистической модели комплексной количественной оценки агрометеорологических условий формирования урожая яровой пшеницы за определенный отрезок периода вегетации, относительно выбранных эталонных условий за аналогичный период, применен известный подход, предложенный в [5–7, 9]. При этом в качестве эталона приняты условия прошлого года.

Оценка условий формирования урожая относительно условий прошлого года на качественном уровне, наряду со средними многолетними условиями, наиболее часто применяется в практической агрометеорологии. Сценарий «климатические нормы», с суточной реализацией в частности, не имеет аналогов в природных условиях. Кроме того,

рядом авторов показано [4, 8], что использование в динамической модели климатических норм в качестве исходных данных вызывает методическую ошибку (существенное повышение рассчитанных значений урожайности). Использование сценария «прошлый год» кроме простоты восприятия потребителем технологично с точки зрения подготовки данных и выполнения расчетов.

Согласно [6], рассматривая урожай в качестве интегральной характеристики агрометеорологических условий вегетационного периода, мерой отличия оцениваемых условий текущей вегетации от прошлогодних будет отношение η_p , %, конечных урожаев, рассчитанное по условиям текущего (Y_o) и прошлого года (Y_p) за оцениваемый период:

$$\eta_p = \frac{O_i}{O_o} \cdot 100.$$

Чтобы дать количественную оценку агрометеорологических условий формирования урожая яровой пшеницы, например, по состоянию на 20 июля текущего года, необходимо рассчитать отношение, где Y_o – урожай, рассчитанный по фактическим данным текущего года от всходов до 20 июля и данным прошлого года от 21 июля до конца вегетации; Y_p – урожай, рассчитанный полностью по данным прошлого года.

Успешность метода количественной оценки сложившихся агрометеорологических условий формирования урожая яровой пшеницы относительно условий прошлого года

В ходе оперативных испытаний оценивались условия, сложившиеся на конец каждой декады периода вегетации 2008–2009 гг. и всего вегетационного периода 2006–2008 гг. до поступления данных по урожайности за 2009 г.

Для верификации метода расчета комплексной количественной оценки сложившихся агрометеорологических условий формирования урожая официально принятых критериев не существует. Поэтому решение о качестве метода выработано с применением общепринятого статистического критерия – среднеквадратического отклонения ряда фактических оценок условий всего вегетационного периода относительно условий прошлого года, то есть ряда величин отношений фактической урожайности текущего года к урожайности предыдущего. Так, допустимые отклонения оценок, рассчитанные по величине $0,67\sigma$ за 1972–2000 гг., составляют по Томской области 22 %, по Новосибирской области 16 %, по Кемеровской области 16 % и по Алтайскому краю 26 %.

Результаты сравнения рассчитанных и фактических величин оценок

агрометеорологических условий, сложившихся за полный вегетационный период, в сравнении с прошлогодними условиями представлены в табл. 1.

Как следует из табл. 1, за годы испытаний метода, включая авторские и оперативные испытания, абсолютные отклонения рассчитанных и фактических оценок только по одному случаю из восьми превысили допустимую величину по Томской и Кемеровской областям. Средние величины этих отклонений составили соответственно 15 и 7 % . По Алтайскому краю при средней величине отклонения, равной 7 %, превышение допустимого уровня за годы испытаний метода не отмечено.

Таблица 1

Сравнение рассчитанных и фактических величин комплексных оценок агрометеорологических условий формирования урожая яровой пшеницы за полный вегетационный период относительно условий прошлого года

Год	Оценка, %		Ошибка, %		Оценка, %		Ошибка, %	
	фактическая	рассчитанная	абсолютная	относительная	фактическая	рассчитанная	абсолютная	относительная
	Томская область				Новосибирская область			
2001	107	108	-1	1	130	111	19	15
2002	105	100	5	5	74	110	-36	49
2003	113	82	31	27	78	59	19	24
2004	97	119	-22	23	125	150	-25	20
2005	83	91	-8	10	78	98	-20	25
2006	83	104	-21	25	105	82	23	22
2007	137	115	22	16	140	155	-15	11
2008	99	91	8	8	99	75	24	24
Средняя за 2001–2008 гг.			15	14			23	24
	Кемеровская область				Алтайский край			
2001	110	101	1	1	106	102	4	4
2002	101	112	-11	11	96	103	-7	7
2003	112	96	16	14	71	77	-6	8
2004	102	104	-2	2	116	113	3	2
2005	87	95	-8	11	77	82	-5	6
2006	97	99	-2	2	126	108	18	14
2007	131	130	1	1	125	135	-10	8
2008	100	82	18	18	78	84	-6	8
Средняя за 2001–2008 гг.			7	8			7	7

По Новосибирской области средняя величина абсолютных отклонений рассчитанных и фактических оценок составила 23 % и только в 2007 году не превысила допустимую величину. В 2002 году отклонение превысило показатель $0,67\sigma$, в остальные годы

отклонения на 1–6 % ниже этого показателя. Степень согласования рассчитанных и фактических величин оценок условий формирования урожая яровой пшеницы за полный вегетационный период показана на рис. 1.

В динамике вегетационного периода проводилось сравнение расчетных методических оценок на конец декад вегетации с обзорными оперативными оценками за аналогичный период. При сопоставлении оценок в преобладающем числе случаев на качественном уровне отмечалось совпадение по знаку и глубине отклонений результатов расчетной оценки и оперативного анализа сложившихся условий во всех субъектах региона.

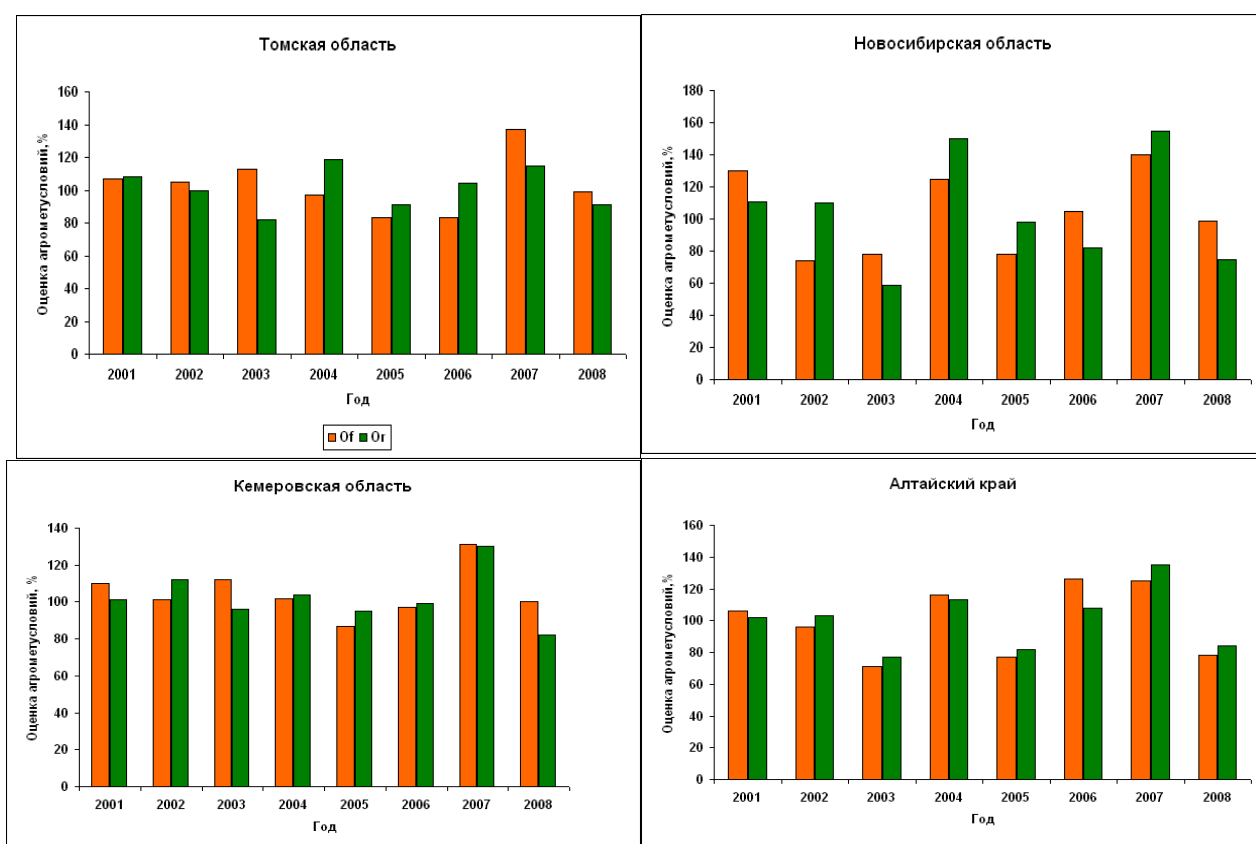


Рис. 1. Сравнение рассчитанных (Or) и фактических (Of) величин комплексной количественной оценки агрометеорологических условий формирования урожая яровой пшеницы за полный вегетационный период относительно условий прошлого года.

2001–2005 гг. – авторские испытания; 2006–2008 гг.– оперативные испытания

Методы прогноза урожайности яровой пшеницы

Разработка методов прогноза средней урожайности яровой пшеницы по территории отдельных субъектов региона на основе динамической модели «Погода-Урожай» выполнялась с ориентацией на принятые в Росгидромете оперативные сроки их

составления (предварительного (первый срок) – 21–23 июня, уточненного (второй срок) – 21–23 июля) и соответствующие критерии оправдываемости.

Один из способов применения динамической модели в целях прогнозирования урожайности, широко применяемый отечественной агрометеорологической наукой и практикой в настоящее время, был предложен А. Н. Полевым [1, 2]. Модель используется в качестве средства расчета ожидаемых отклонений урожайности от тренда, то есть для определения степени отличия сложившихся на дату составления прогноза агрометеорологических условий формирования урожая относительно средних многолетних.

Применению данной методологии прогнозирования в рамках отдельных субъектов рассматриваемого региона препятствует отсутствие значимого тренда урожайности. Так, тренд урожайности яровой пшеницы после доработки за период 1971–2000 гг. характеризуется следующими коэффициентами корреляции при значимой величине на 5 % уровне, равной 0,361: Томская область – 0,327; Новосибирская область – 0,101; Кемеровская область – 0,289; Алтайский край – 0,332; Для расчета прогнозов урожайности яровой пшеницы на основе динамико-статистической модели «Погода–Урожай» путем статистического анализа подобраны наиболее показательные варианты сценариев ожидаемых метеорологических условий от даты составления прогноза до конца вегетации. Для Томской, Новосибирской, Кемеровской областей – это пролонгированный сценарий “года-аналога” по долгосрочному прогнозу погоды на июль – для предварительного прогноза урожайности и на август – для уточненного. По Алтайскому краю рекомендован сценарий инерционного прогноза метеорологических условий – по прошлому году.

Авторские испытания методов проводились по независимым материалам наблюдений за 2001–2005 гг. Производственные испытания осуществлялись: по территории Новосибирской области в отделе агрометеорологических прогнозов Новосибирского Гидрометцентра, по территории Алтайского края – в отделе агрометеорологии и агрометеорологических прогнозов, по территории Кемеровской и Томской областей – в отделе гидрометеорологического обеспечения (ОГМО) соответствующих ЦГМС. На материалах наблюдений 2006–2007 гг. испытания проводились в квазиоперативном режиме и в оперативном режиме на материалах 2008–2009 гг. В 2009 году оценивалось только на качественном уровне согласование рассчитанных и оперативных декадных оценок условий формирования урожая яровой пшеницы в сравнении с прошлым годом, поскольку время, запланированное на проведение испытаний, закончилось до опубликования статистических данных о

фактической урожайности культуры за 2009 год.

На рис. 2 показано сравнение рассчитанных величин ожидаемой урожайности яровой пшеницы по методическим (предварительному и уточненному), инерционному и климатологическому прогнозам с фактическими ее значениями за независимый ряд лет, включая годы авторских (2001–2005 гг.) и оперативных (2006–2008 гг.) испытаний.

Оценка успешности прогноза средней урожайности яровой пшеницы на основе указанных методов проводилась согласно [3].

На основании рекомендаций [3] и утвержденной программы испытаний, новый метод прогноза средней областной (краевой) урожайности яровой пшеницы сравнивался с инерционными, климатологическими и с применяемыми в оперативной практике расчетными методами В.В. Костюкова, М.И. Черниковой, К.В. Кирилличевой, а также с оперативными прогнозами.

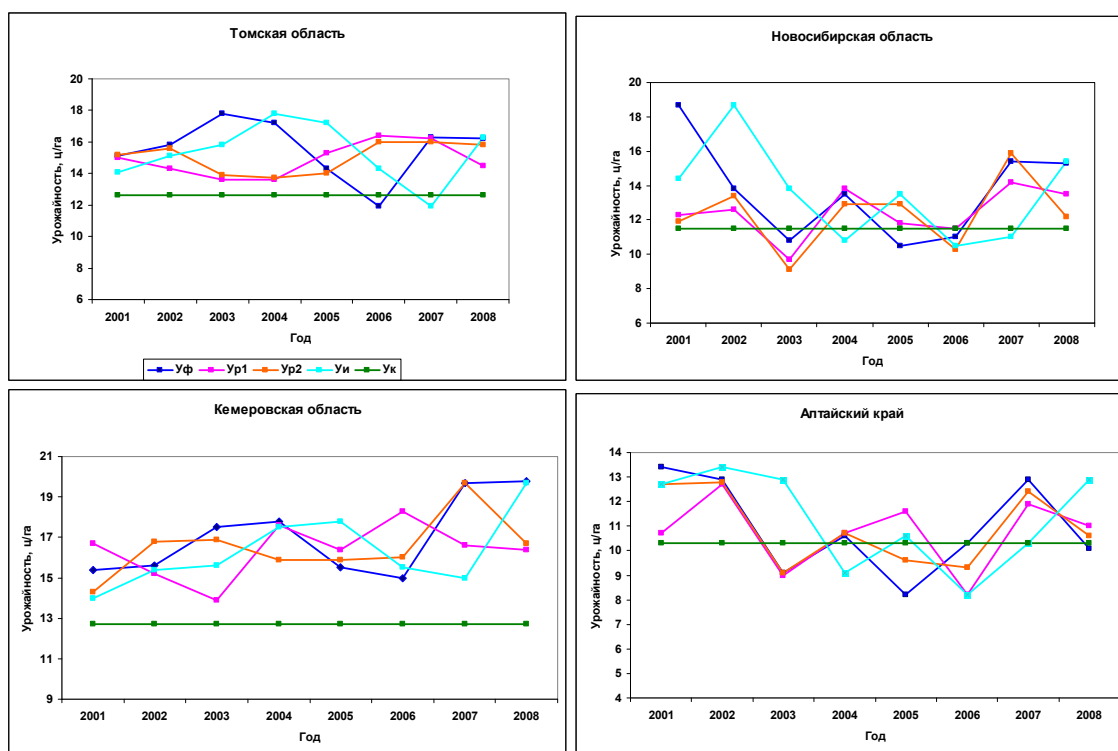


Рис. 2. Сравнение величин ожидаемой урожайности яровой пшеницы по методическому (предварительный -Ur1, уточненный - Ur2), инерционному (Ui) и климатологическому (Uк) прогнозам с фактической урожайностью (Уф)

Результаты сравнительной оценки оправдываемости прогнозов урожайности яровой пшеницы на первый и второй срок по новому методу с оправдываемостью вышеперечисленных прогнозов представлены в табл. 2 и 3.

Успешность прогнозов урожайности яровой пшеницы по территории Томской области

Анализ результатов испытаний нового метода прогноза урожайности яровой пшеницы по территории Томской области показал, что за 3 года производственных испытаний средняя оправдываемость прогнозов по новому методу составила 84 % – в первый срок и 87 % – во второй срок, что на 1–6 % выше оправдываемости инерционных и климатологических прогнозов. В целом за 8 лет, включающих оперативные и авторские испытания, средняя оправдываемость методических прогнозов по Томской области в первый срок составила 86 %, что на 4 % выше оправдываемости климатологических, но на 2 % ниже оправдываемости инерционных прогнозов (табл. 2).

Таблица 2

Оправдываемость предварительных прогнозов средней урожайности яровой пшеницы за 2001–2008 гг. по испытываемому методу в сравнении с инерционными, климатологическими, оперативными и другими расчетными методами

Территория	Наименование прогноза	Оправдываемость, %		
		Авторские испытания за 2001–2005 гг.	Производственные испытания за 2006–2008 гг.	Средняя за 2001–2008 гг.
Томская область	Методический	88	84	86
	Инерционный	91	84	88
	Климатологический	82	83	82
	Оперативный	91	87	90
Новосибирская область	Методический	87/92*	92	89/92**
	Инерционный	73	89	79
	Климатологический	83	82	82
	Метод Костюкова В.В.	88*	88	88**
	Оперативный	81	92	85
Кемеровская область	Методический	93/91*	82	88/86**
	Инерционный	92	91	92
	Климатологический	78	71	75
	Метод М.И. Черниковой	94	93	94
	Метод В.В. Костюкова	73*	85	79**
	Оперативный	88	87	88
Алтайский край	Методический	87/86*	88	87/87**
	Инерционный	80	77	79
	Климатологический	83	93	86
	Метод К.В. Кирилличевой	77	83	79
	Метод В.В. Костюкова	90*	87	89**
	Оперативный	80	90	84

Примечание: * средняя оправдываемость за 2003–2005 гг.

** средняя оправдываемость за 2003–2008 гг.

Согласно расчетам, на второй срок средняя оправдываемость прогнозов за тот же период равна 90 %, что выше оправдываемости инерционных и климатологических прогнозов на 2–8 % и на 5–9 % выше оправдываемости прогнозов, составленных по

внедренным методам М.И. Черниковой и В.В. Костюкова., и одинаковая с оправдываемостью оперативных прогнозов (табл. 3).

Таблица 3

Оправдываемость уточненных прогнозов средней урожайности яровой пшеницы за 2001-2008 гг. по испытываемому методу в сравнении с инерционными, климатологическими, оперативными и другими расчетными методами

Территория	Наименование прогноза	Оправдываемость, %		
		Авторские испытания за 2001–2005 гг.	Производственные испытания за 2006–2008 гг.	Средняя за 2001–2008 гг.
Томская область	Методический	91/85*	87	90/86**
	Инерционный	91	84	88
	Климатологический	82	83	82
	Метод М.И. Черниковой	85	84	85
	Метод В.В. Костюкова	86*	78	81**
	Оперативный	92	87	90
Новосибирская область	Методический	84/86*	90	86/88**
	Инерционный	73	89	79
	Климатологический	83	82	82
	Метод К.В. Кириличевой	79	91	84
	Метод В.В. Костюкова	90*	90	90**
	Оперативный	81	93	85
Кемеровская область	Методический	94/95*	92	93/94**
	Инерционный	92	91	92
	Климатологический	78	71	75
	Метод М.И. Черниковой	89	92	90
	Метод В.В. Костюкова	79*	90	84**
	Оперативный	90	86	88
Алтайский край	Методический	95/94*	94	95/94**
	Инерционный	80	77	79
	Климатологический	83	93	86
	Метод К.В. Кириличевой	91	83	88
	Метод В.В. Костюкова	97*	76	86**
	Оперативный	84	88	85

Примечание: * средняя оправдываемость за 2003–2005 гг.

** средняя оправдываемость за 2003–2008 гг.

Оценка оправдываемости составленных прогнозов по величине допустимой абсолютной погрешности на этой территории (табл. 4) показала преимущество нового метода перед другими. Так, за период испытаний из 8 составленных прогнозов оправдалось в первый срок – 5, во второй срок – 6 прогнозов. Оправдываемость метода составила соответственно 63 % и 75 %, что превышает этот показатель для инерционных прогнозов на 12–25 %, а для климатологических – на 37–50 %.

**Результаты испытаний метода прогноза средней урожайности яровой пшеницы
за период 2001–2008 гг. по территории ответственности Западно–Сибирского УГМС**

Территория	Наименование прогноза	Заблаговременность	Количество составленных прогнозов	Число оправдавшихся прогнозов	Оправдываемость метода, %	Ошибка метода, %
Томская Область	Предварительный	2 мес	8	5	63	5,6
	Уточненный	1 мес	8	6	75	1,6
	Инерционный		8	4	50	5,2
	Климатологический		8	2	25	9,0
Новосибирская область	Предварительный	2 мес	8	6	75	7,5
	Уточненный	1 мес	8	5	63	6,4
	Инерционный		8	2	25	2,5
	Климатологический		8	2	25	5,0
Кемеровская область	Предварительный	2 мес	8	4	50	4,2
	Уточненный	1 мес	8	7	88	5,4
	Инерционный		8	6	75	4,5
	Климатологический		8	0	-	-
Алтайский край	Предварительный	2 мес	8	5	63	4,2
	Уточненный	1 мес	8	8	100	5,4
	Инерционный		8	3	38	10,3
	Климатологический		8	4	50	4,5

**Успешность прогнозов урожайности яровой пшеницы по территории
Новосибирской области**

В годы оперативной проверки по территории Новосибирской области в оба срока не оправдались прогнозы, составленные в 2008 году. Относительная ошибка уточненного прогноза оказалась больше предварительного на 8 %. Средняя оправдываемость методических прогнозов в годы производственных испытаний составила: в первый срок 92 %, во второй срок – 90 %, что выше оправдываемости инерционных и климатологических прогнозов на 1–10 % и методических прогнозов за годы авторской проверки на 5–6 %.

В итоге за 8 лет испытаний нового метода по Новосибирской области средняя оправдываемость прогноза на первый срок составила 89 %, на второй – 86%. Это на 4–10 % выше оправдываемости инерционных и климатологических прогнозов, на 1–2 % успешнее расчетных методов, используемых в оперативной практике, и оперативных прогнозов. На второй срок новый метод по средней оправдываемости уступает только методу В.В. Костюкова на 4 %.

Оценка оправдываемости прогнозов по величине допустимой погрешности также показала преимущество нового метода (табл. 4). Из 8 предварительных прогнозов по новому методу оправдались 6, из 8 уточненных – 5. Оправдываемость нового метода в первый срок составила 75 %, во второй срок – 63 %. Успешность инерционных и климатологических прогнозов в 2,5–3 раза ниже оправдываемости методических прогнозов.

Успешность прогнозов урожайности яровой пшеницы по территории Кемеровской области

Для территории Кемеровской области, как в годы авторской, так и в годы оперативной проверки, наиболее успешными были методические прогнозы, составленные во второй срок – уточненные прогнозы. В годы авторских испытаний прогнозы, составленные по новому методу во второй срок, имели высокую оправдываемость (89–98 %), абсолютная ошибка ни в одном из прогнозов не превысила допустимую погрешность ($0,67\sigma$). Средняя оправдываемость методических прогнозов составила 94 %, что на 2–16 % выше оправдываемости инерционных и климатологических прогнозов.

В годы оперативных испытаний нового метода прогноза урожайности яровой пшеницы на территории Кемеровской области не оправдался один прогноз, составленный в 2008 г. Прогнозируемая урожайность оказалась ниже фактической на 3,1 ц/га (рис. 2), оправдываемость прогноза составила 84 %. Средняя оправдываемость прогнозов за 3 года производственных испытаний 92 %, что выше оправдываемости инерционных и климатологических прогнозов на 1–21 %.

Средняя оправдываемость уточненных методических прогнозов за 8 лет испытаний составила 93 %, что выше оправдываемости инерционных и климатологических прогнозов на 1–18 %, а также выше оправдываемости оперативных и прогнозов, составленных по применяемым расчетным методам (табл. 3).

В то же время предварительный прогноз (первый срок) в годы авторских испытаний не оправдался из пяти лет только в 2003 году (абсолютная ошибка превысила допустимую погрешность на 1,6 ц/га). Средняя оправдываемость методических прогнозов составила 93 %, что успешнее инерционных и климатологических на 1–15 %. При оперативных испытаниях по допустимой абсолютной погрешности не оправдался ни один прогноз, составленный по новому методу. Средняя оправдываемость методических прогнозов оказалась ниже оправдываемости инерционных прогнозов на 9 % и составила 82 %. В целом за весь период испытаний оправдываемость методических прогнозов на

первый срок ниже оправдываемости инерционных прогнозов на 4 % (табл. 2).

По территории Кемеровской области оценка оправдываемости прогнозов по новому методу по величине допустимой абсолютной погрешности такова: из 8 составленных прогнозов оправдались в первый срок 4 прогноза (оправдываемость метода 50 %, средняя ошибка 4,2 %), во второй срок оправдались 7 прогнозов (оправдываемость метода 87,5 %, средняя ошибка метода 5,4 %). Оправдываемость инерционных прогнозов составила 75 %, а климатологических прогнозов – 0 % (табл. 4). Следует отметить, что за последние два года оперативных испытаний в области наблюдалась максимальная урожайность за весь период, включая годы, используемые при разработке метода.

Успешность прогнозов урожайности яровой пшеницы по территории Алтайского края

Анализ успешности прогнозов средней краевой урожайности яровой пшеницы по новому методу для территории Алтайского края показал, что средняя оправдываемость методических прогнозов за все годы проверки (2001–2008 гг.) на первый срок составила 87 %, что выше оправдываемости инерционных и климатологических прогнозов на 1–8 % (табл. 2.). Все методические прогнозы, составленные на второй срок (табл. 3), были удачными, абсолютная ошибка прогнозов не превышала допустимую погрешность ($0,67\sigma$). Средняя оправдываемость уточненных прогнозов за все годы проверки составила 95 %, что на 8–16 % выше оправдываемости предварительных, инерционных и климатологических прогнозов (табл. 2, 3), а также выше средней оправдываемости оперативных прогнозов и прогнозов, составленных по расчетным методам.

Оценка оправдываемости прогнозов для территории Алтайского края по величине допустимой погрешности показала преимущество нового метода в сравнении с применяемыми методами (табл. 4).

За весь период испытаний нового метода оправдываемость предварительных прогнозов (первый срок) составила 63 % (средняя ошибка 4,2 %). Для уточненных прогнозов (второй срок) оправдываемость метода 100 % (средняя ошибка 5,4 %).

В целом для Алтайского края по новому методу оправдываемость прогнозов средней краевой урожайности яровой пшеницы для первого срока на 13–25 %, для второго срока – на 50–62 % выше уровня оправдываемости инерционных и климатологических прогнозов.

Представленные методы полностью автоматизированы. Технологическая линия включает выборку текущей информации из ГИС МЕТЕО (БД АСОАМИ для

Новосибирского ГМЦ) и из электронной версии ТСХ–1 (для Томского, Кемеровского, и Алтайского ЦГМС), выборку данных по прогнозируемым годам-аналогам из специализированного автоматически пополняемого каталога, составление РНД, расчет оценок сложившихся условий формирования урожая и прогнозов урожайности яровой пшеницы на заданную дату.

Технический совет ГУ «Новосибирский ЦГМС-РСМЦ» 8 сентября 2009 года, рассмотрев полученные результаты испытаний, рекомендовал новый метод оценки агрометеорологических условий формирования и прогноза урожайности яровой пшеницы по территории Томской, Новосибирской, Кемеровской областей и Алтайского края к внедрению в качестве основного по всей территории Западно-Сибирского УГМС: по территории Томской, Новосибирской областей и Алтайского края – на сроки 21–23 июня и 21–23 июля, по территории Кемеровской области – только на срок 21–23 июля.

Использование прогнозов на срок 21–23 июня по Кемеровской области из-за низкой оправдываемости считать нецелесообразным. Рекомендовать ГУ «СибНИГМИ», ГУ «Новосибирский ЦГМС-РСМЦ» (Отдел агрометеорологических прогнозов) продолжить оперативные испытания метода оценки агрометеорологических условий формирования и прогноза урожайности яровой пшеницы» по Кемеровской области на срок 21–23 июня.

Список литературы

1. *Полевой А.Н.* Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 175 с.
2. *Полевой А.Н., Русакова Т.И. и др.* Прикладная динамическая модель формирования урожая сельскохозяйственных культур// В сб. «Гидрометеорологическое обеспечение агропромышленного комплекса страны». – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – С. 15–31.
3. РД 52.27.284-91. Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов.
4. *Септ Ю.В., Тооминг Х.Г.* Динамическая модель продукционного процесса картофеля и ее применение для решения некоторых агрометеорологических задач. – М.: Гидрометеиздат, 1987. – 44 с.
5. *Сиротенко О.Д.* Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 167 с.
6. *Сиротенко О.Д., Абашина Е.В.* Об использовании динамических моделей для оценки агрометеорологических условий формирования урожаев // Метеорология и гидрология. – 1982. – № 8. – С. 95–101.
7. *Сиротенко О.Д., Просвиркина А.Г.* Метод количественной оценки агрометеорологических условий формирования урожая ярового ячменя (для Нечерноземной зоны Европейской территории СССР):

Методическое пособие. – М.: Гидрометеоздат, 1979. – 32 с.

8. *Сиротенко О.Д., Павлова В.Н.* Об использовании динамических моделей для оценки влияния возможных изменений и колебаний климата на урожайность сельскохозяйственных культур // Труды ВНИИСХМ. – 1985.– Вып. 10. – С. 81–90.

9. *Сиротенко О.Д., Абашина Е.В., Павлова В.Н.* Динамическая модель «Погода–Урожай» для яровых зерновых культур и ее использование при оценке агрометеорологических условий формирования урожая в аридной зоне // Тр. ВНИИСХМ. – 1985. – Вып. 10. – С. 43–61.

10. *Страшная А.И.* Состояние и проблемы оперативного агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства на федеральном уровне в условиях глобального изменения климата // Труды ГУ «ВНИИСХМ». – 2007. – Вып. 36. – С. 78–91.