

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЗАДАЧАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ



Н.О. Мусеева,

Академия гражданской авиации, Санкт-Петербург

А.Н. Ефременко, Д.М. Караваев, В.В. Черный,

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург

О.Г. Анискина

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

2 Метеорологическое обеспечение полетов воздушных судов

Цель метеорологического обеспечения полетов авиации:

Обеспечение безопасности, регулярности, повышение экономических показателей

Требования, предъявляемые к метеорологическому обеспечению полетов:

в соответствии с п. 3 Положения ИКАО и Федеральными авиационными правилами «Предоставление метеорологической информации для обеспечения полетов воздушных судов» обеспечение должно быть своевременным, достаточно полным, высоким по качеству

В планировании и управлении воздушным движением необходим учет состояния внешней среды в точках и областях пространства, в которых воздушное судно будет находиться при полете по трассе

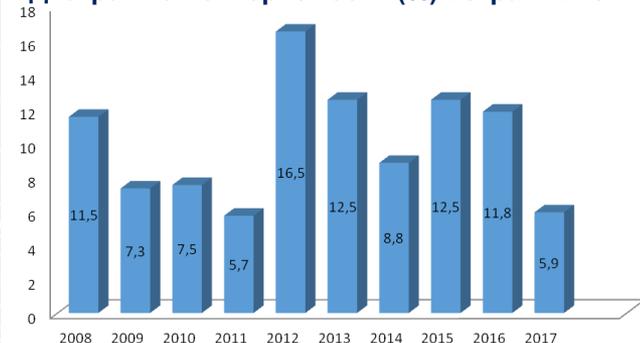
Метеорологическая информация должна обеспечивать возможность управления воздушным судном на всех этапах выполнения полета, начиная от взлета и полета по заданному маршруту и заканчивая посадкой летательного аппарата в пункте назначения

Задача : Разработка методики комплексного учета климатической, фактической и прогностической метеорологической информации для оптимизации процедуры метеорологического обеспечения полетов гражданских воздушных судов в районах мало освещенных в метеорологическом отношении, и ее использование при долгосрочном и оперативном планировании полетов

3 Региональные особенности развития опасных явлений погоды

ЯНВ	ФЕВ	МАР	АПР	МАЙ	ИЮН	ИЮЛ	АВГ	СЕН	ОКТ	НОЯ	ДЕК	ГОД
Среднее число дней с кучево-дождевой облачностью												
10,7	12,2	11,6	18,9	20,1	21,5	19,4	23,2	22,2	21,6	18,8	17,2	21,6
Среднее число дней с циклонической и антициклонической погодой												
12,4	11,1	10,2	14,3	10,8	8,6	7,1	10,4	13,2	16,5	12,5	11,8	14,2
18,6	17,2	20,8	15,7	20,2	21,4	23,9	20,6	16,8	14,2	13,2	11,8	14,2
Максимальное число дней с циклонической и антициклонической погодой												
21	18	17	20	18	17	13	16	18	20	25	28	21
24	23	23	25	26	27	29	25	25	21	13	16	21
Среднее число дней с турбулентностью (по данным ВС)												
1,7	1	1,7	2,6	1,4	0,8	0,6	0,5	1,6	2,1	3,2	4	21,2
Число дней с турбулентностью (по данным ВС)												
6	4	8	6	4	3	3	2	3	6	5	9	32
Среднее число дней с обледенением (по данным ВС)												
1,1	0,7	1,3	2,7	2,8	1,6	0,6	1,4	3,8	3,8	3,3	1,7	24,8
Среднее число дней с грозой												
			0,4	2,1	6,1	7,3	3,4	0,7	0,2			20,2
Среднее число дней со сдвигом ветра до высоты круга (по данным ВС)												
0,9	0,8	1	1,1	0,5	0,3	0,1	0,4	1,1	1,2	1,9	2,2	11,5
Наибольшее число дней ливневым дождем												
		0,5	6,1	13,4	15,5	12,5	15,9	14,3	6,7	1,6	0,1	86,6

Диаграмма повторяемости (%) ветра $V \geq 15$ м/с

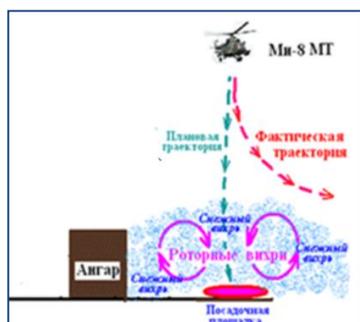


Основная черта климата района полетов аэропорта **Красноярск (Емельяново)** - резкая континентальность. Характерны значительные годовые амплитуды температуры воздуха. Среднее число дней в году с кучево-дождевой облачностью -215,6, с максимумом в августе – 23,2 дня. Наблюдается увеличение количества осадков: 2017г. - исторический максимум.

4 Безопасность полетов и метеорологические условия

Задержки, отмена рейсов по метеоусловиям (Диксон)

Месяц и год	отмены	задержки	Количество опасных явлений							Итого ОЯ
			Ухудшение видимости в осадках менее 2000 м (в т.ч. метели)	Ухудшение видимости в дымке, мгле менее 2000 м	Ухудшение видимости в тумане	Ветер (с учетом эксплуатационных минимумов)	Низкая облачность (ниже 200 м)	Гроза	Другие ОЯ	
9.2015	1	0								
8.2015	2	0	7	9	20	2	38	0	8	84
7.2015	7	3								
6.2015	7	6								
5.2015	2	0	5	6	17	17	31	0	1	77
4.2015	1	0								
3.2015	0	0								
2.2015	2	0	18	6	0	15	5	0	18	62
1.2015	5	0								
12.2014	3	0								
11.2014	5	0	13	0	1	21	14	0	18	67
10.2014	3	0								
9.2014	1	0								
8.2014	1	1	4	9	12	6	35	0	8	74
7.2014	0	1								
6.2014	0	2								
5.2014	1	1	12	4	9	12	25	0	11	73
4.2014	2	0								
3.2014	0	0								
2.2014	0	0	19	9	4	6	22	0	43	103
1.2014	0	0								



Метеорологическая экспертиза катастроф

Катастрофа вертолёта МИ-8 МТ в 14ч 00 мин (UTC) 30/03/2008г.

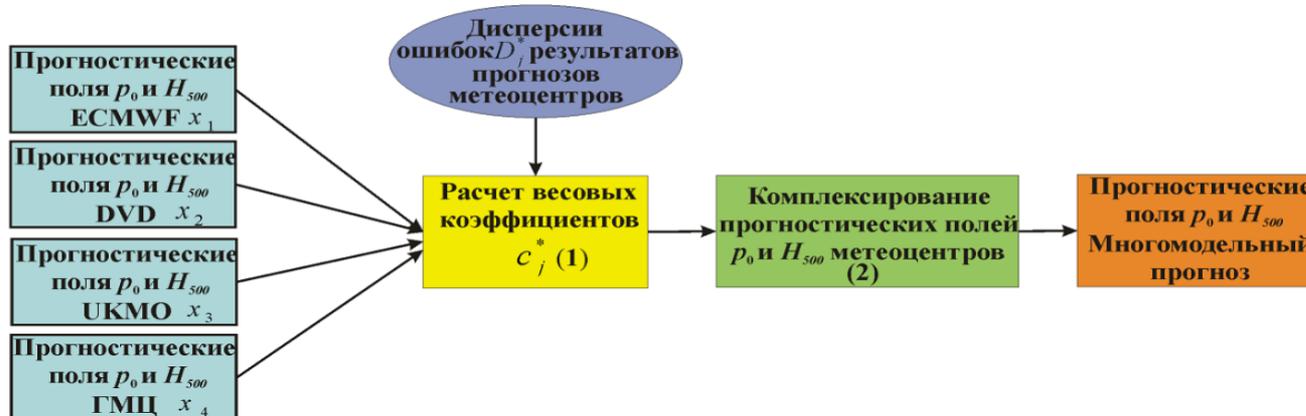
на вертодроме Баренцбург (Шпицберген) демонстрирует

особые условия полетов в Арктике и сложности метеорологического обеспечения.

(airdisaster.ru/database.php?id=417)

5 Адаптивный метод среднесрочного многомодельного прогнозирования

СХЕМА КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ МЕТЕОВЕЛИЧИН



ЛИНЕЙНАЯ ИНЕРЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ОЖИДАНИЙ ПРИ НЕРАВНОТОЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

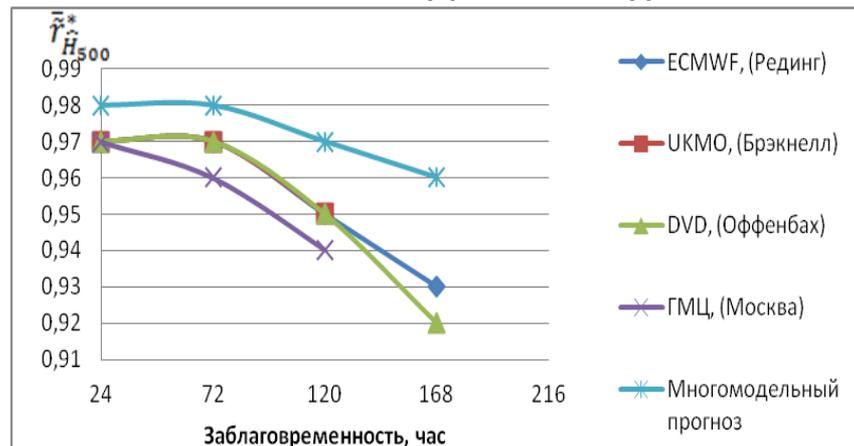
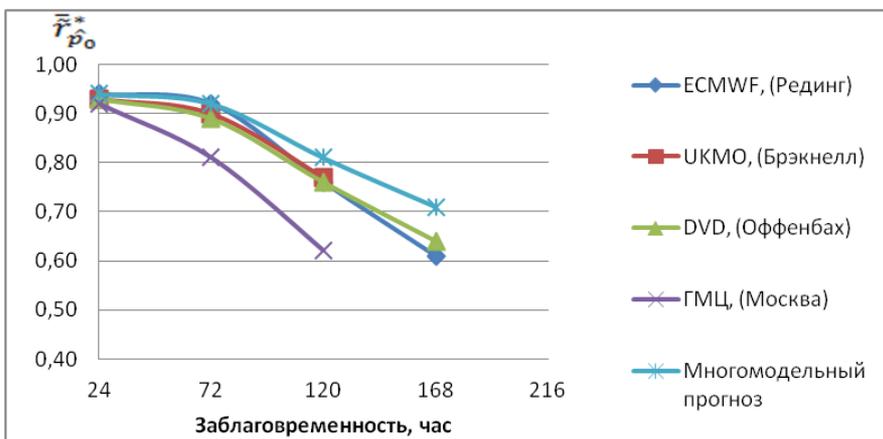
Оценка математического ожидания метеорологической величины в классе линейных функций:

$$\tilde{M}_x = \sum_{j=1}^n c_j^* x_j \quad (1)$$

Весовые коэффициенты:

$$c_j^* = d_j^* / \sum_{j=1}^n d_j^*, \quad d_j^* = \frac{1}{D_j^*}, \quad j = 1(1)n. \quad (2)$$

Осредненные значения оценок коэффициентов корреляции поля p_0 Осредненные значения оценок коэффициентов корреляции поля H_{500}



6 Развитие синоптико-статистических моделей прогнозирования

№	Барические образования	$p_{xx}(\lambda\lambda)$	$p_{yy}(\phi\phi)$
1	Циклон	$p_{xx} > \delta p_1$	$p_{yy} > \delta p_1$
2	Ложбина	$ p_{xx} \leq \delta p_1 $ $p_{yy} > \delta p_1$	$p_{xx} > \delta p_1$ $ p_{yy} \leq \delta p_1 $
3	Гребень	$p_{yy} < -\delta p_1$ $ p_{xx} \leq \delta p_1 $	$ p_{yy} \leq \delta p_1 $ $p_{xx} < -\delta p_1$
4	Антициклон	$p_{xx} < -\delta p_1$	$p_{yy} < -\delta p_1$
5	Малоискривленные поля	$ p_{xx} \leq \delta p_1 $	$ p_{yy} \leq \delta p_1 $
6	Седловина	$p_{xx} > \delta p_1$ $p_{yy} < -\delta p_1$	$p_{yy} < -\delta p_1$ $p_{xx} > \delta p_1$
№	Основные направления	Критерии	
		p_x	p_y
1	СВ, В	$p_x > \delta p_2$	$p_y \geq \delta p_2$
2	ЮВ, Ю	$p_x \geq \delta p_2$	$p_y < \delta p_2$
3	ЮЗ, З	$p_x < \delta p_2$	$p_y \leq \delta p_2$
4	СЗ, С	$p_x \leq \delta p_2$	$p_y > \delta p_2$
5	Штиль	$ p_x \leq \delta p_2$	$ p_y \leq \delta p_2$

α	безградиентное поле	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	С
Ц									
Л									
Ац									
Г									
МП									
Са									
Сб									

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАДАНЫХ ГРАДАЦИЙ ОБЩЕГО КОЛИЧЕСТВА ОБЛАКОВ

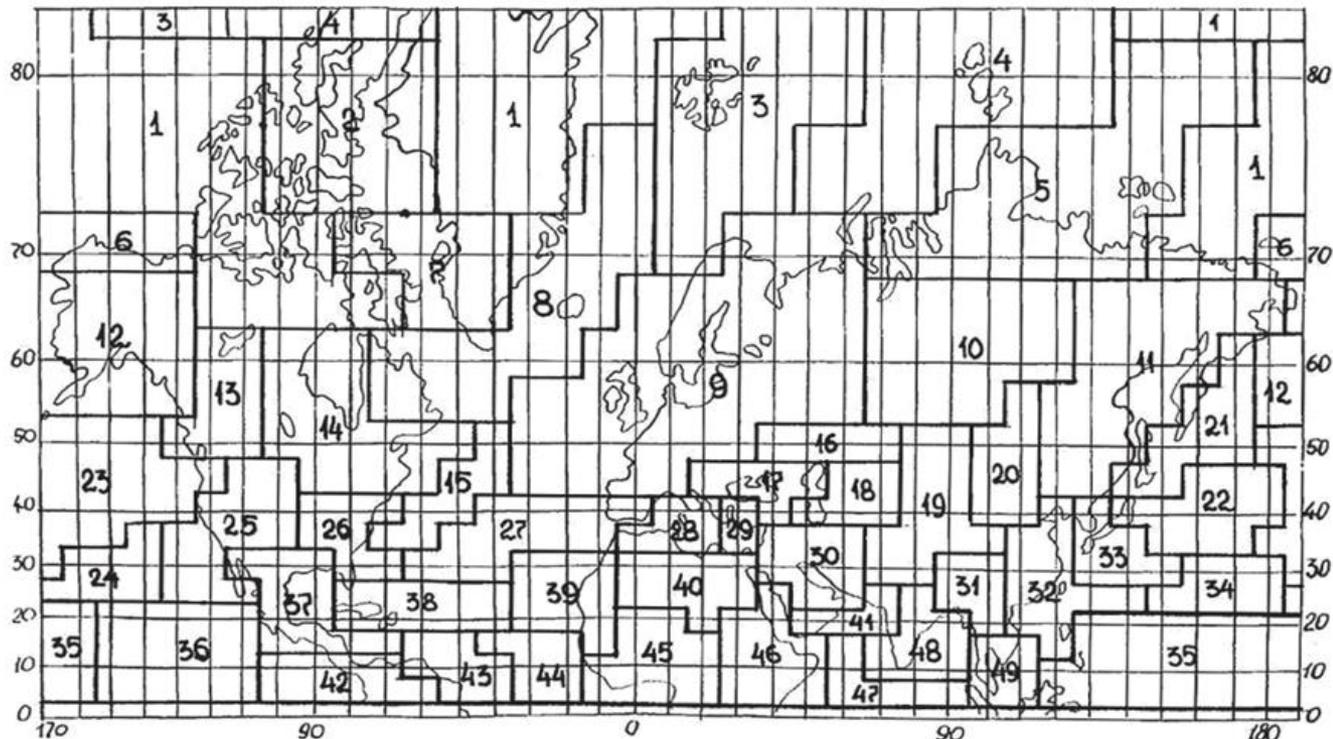
$$P_{\hat{\Phi}}(\hat{\Phi}_{(r)}/X_{(k)}) = P(\hat{\Phi}_{(r)} = \Phi_{(r)}) \quad [r=1(1)R, \quad k=1(1)K]. \quad \textcircled{1}$$

$P_{\hat{\Phi}}(\hat{\Phi}_{(r)}/X_{(k)})$ - статистические оценки вероятностей появления r -той градации общего количества облаков (предиктанта) при k -тых значениях сочетания предикторов
 $P(\hat{\Phi}_{(r)} = \Phi_{(r)})$ - ряд распределения вероятностей дискретной величины $\hat{\Phi}_{(r)}$ (прогнозируемых градаций общего количества облаков)

$$r = \begin{cases} 1 & \text{- количество облаков 0 - 6 б (БМУ)} \\ 2 & \text{- количество облаков 7 - 10 б (НМУ)} \end{cases}$$

k - число предиктантов (предсказателей)

7 Развитие синоптико-статистических моделей прогнозирования



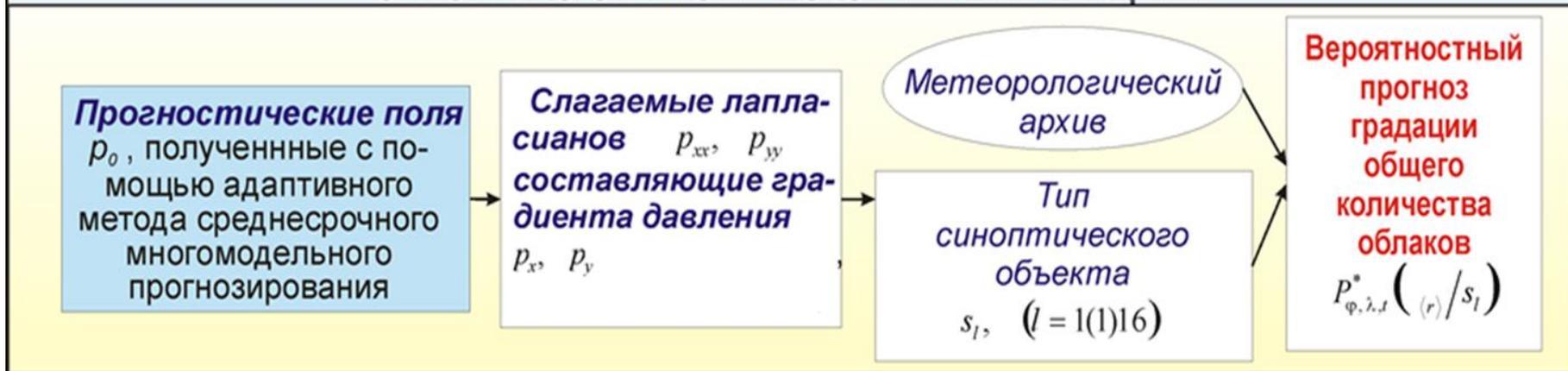
Карта однородных синоптико-климатических районов (северное полушарие, зимний сезон)

Структура метеорологического архива (обучающей выборки) для вероятностного прогнозирования общего количества облаков (пример применения разработанного метода)

№ п/п	Дифференциальные характеристики значений полей атмосферного давления	Градации (фазы) общего количества облаков
1	$(x_i, i = 1(1)K)_1$	$(\Phi_r)_1$
2	$(x_i, i = 1(1)K)_2$	$(\Phi_r)_2$
.	.	.
.	.	.
N	$(x_i, i = 1(1)K)_N$	$(\Phi_r)_N$

8 Метод вероятностного прогнозирования облачности

СХЕМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ СИНОПТИКО-СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ...



СРЕДНИЕ ОЦЕНКИ УСПЕШНОСТИ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ПРОГНОЗОВ ОБЩЕГО КОЛИЧЕСТВА ОБЛАКОВ, РАЗРАБОТАННЫХ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СИНОПТИКО-СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОМОДЕЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОЛЯ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ 26 ОСКР ЗИМА. КОНТРОЛЬНАЯ ВЫБОРКА $n = 270$

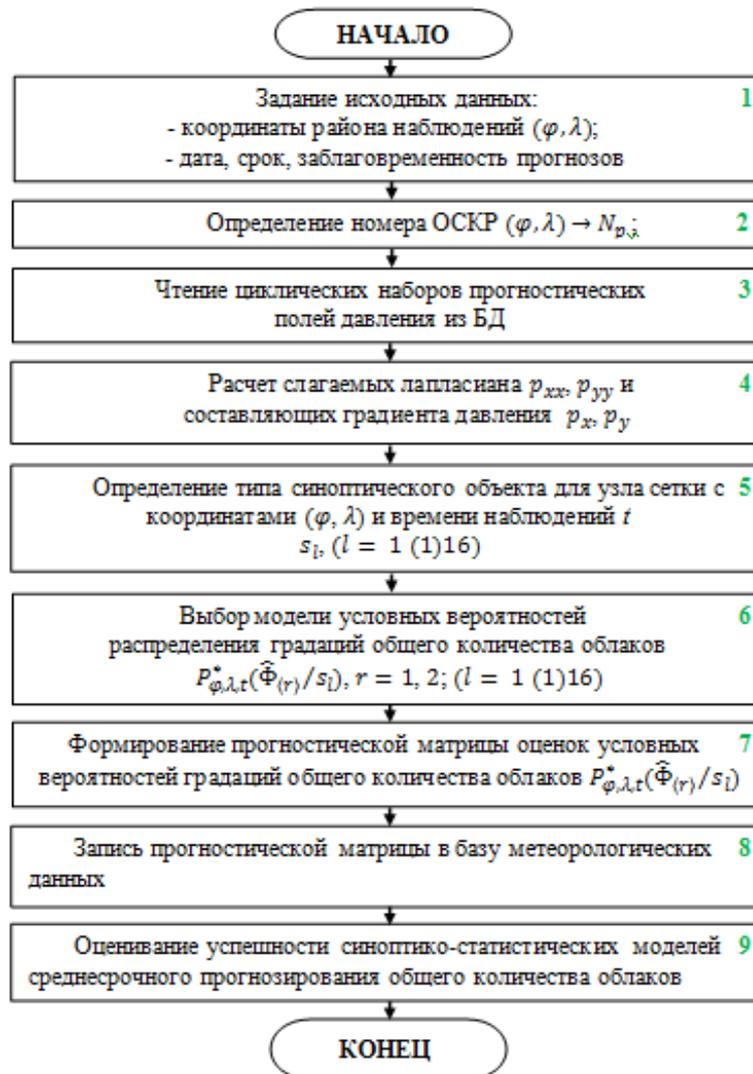
Заблаговременность, сутки	Оценки успешности прогнозов				
	Доля оправдавшихся прогнозов	Доля неоправдавшихся прогнозов		Оценка Брайера (В) (условные распределения)	Оценка Брайера (В) (климатический прогноз)
		Φ_1	Φ_2		
2	0,87	0,12	0,16	0,28	0,45
4	0,84	0,15	0,18	0,31	0,45
6	0,80	0,19	0,21	0,35	0,45
8	0,77	0,22	0,26	0,40	0,45
10	0,71	0,28	0,30	0,45	0,45

Средние оценки успешности среднесрочных прогнозов градаций общего количества облаков заметно превышают результаты климатического прогнозирования.

При этом доля оправдавшихся прогнозов по контрольной выборке с заблаговременностью от 2 до 10 суток изменяется от 87 до 71 %.

Оправдываемость климатических прогнозов не превышает 63 %.

9 Алгоритм среднесрочного прогноза облачной обстановки



Алгоритм разработки среднесрочных прогнозов облачной обстановки с использованием прогностических полей атмосферного давления и синоптико-статистических моделей прогнозирования

10 Разработка программно-технического комплекса

Подсистема приема первичной ГМИ

Прием космической ГМИ
- спутниковые системы наблюдения за атмосферой (гидрометеорологического и природоресурсного назначения)
- глобальные спутниковые навигационные системы для получения информации (ГЛОНАСС)

Прием циркулярных передач первичной ГМИ и результатов прогнозов по глобальным ГДМА от Гидрометцентра РФ и от зарубежных ММЦ

Прием ГМИ от ведомственных сетей наблюдений

Подсистема усвоения данных

- сортировка принятой ГМИ по типам сообщений и сводок;
- сохранение принимаемых сводок в базе данных;
- раскодирование принимаемых сводок;
- контроль качества и т.д.

Подсистема архивации данных

архивация и хранение ГМИ

Подсистема обработки и анализа гидрометеорологической информации

- контроль;
- интерполирование;
- аппроксимация;
- восстановление полей;
- переход от переменных значений объективного анализа к переменным гидродинамической модели;
- подготовка начальных условий для функционирования гидродинамической модели атмосферы и т.д.

Подсистема визуализации и документирования информации

- отображения и документирования результатов работ подсистем ПТК;
- обеспечения взаимодействия с пользователем при решении задач сбора, обработки и передачи ГМИ.

Подсистема моделирования

- предварительная обработка;
- инициализация модели;
- моделирование;
- подготовка и вывод модельной продукции.

Подсистема физико-статистической интерпретации

физико-статистическая интерпретация прогностических полей ГМВ

Подсистема передачи гидрометеорологической информации

Передача фактической и прогностической ГМИ и рекомендаций по учету ГМУ при принятии решения о проведении мероприятий, направленных на предотвращение или минимизацию ущерба

Подсистема верификации разрабатываемых прогнозов

расчёт показателей успешности прогнозов полей метеорологических величин

Подсистема адаптации методов прогнозирования

- оценивание качества методов прогнозирования;
- уточнение параметров физико-статистических методов прогнозирования;
- выдачи рекомендаций о предпочтительности методов прогнозирования одного и того же явления погоды или гидрометеорологической величины.

Подсистема разработки рекомендаций

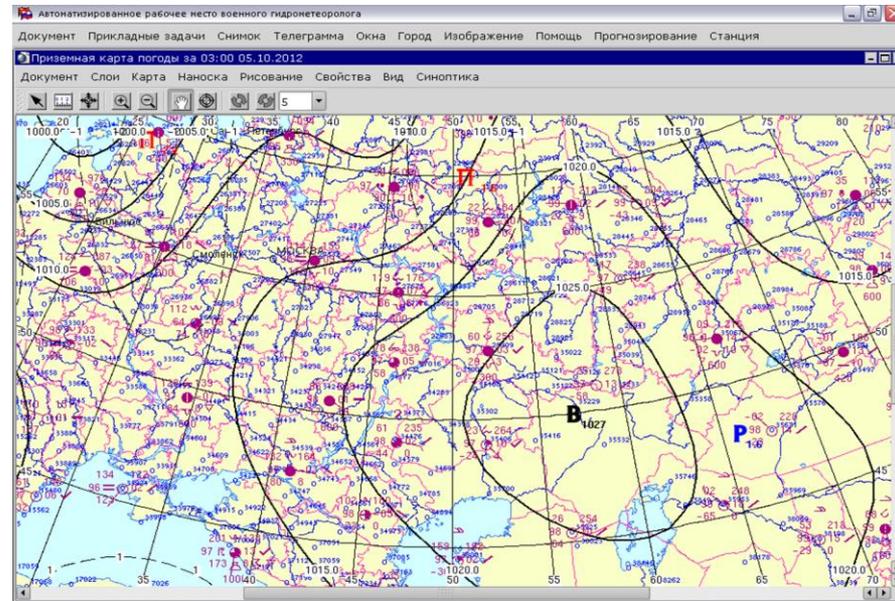
1. Анализ показателей гидрометеорологических условий (ГМУ):
- способствующие возникновению ОПЯ;
- нейтральные;
- не способствующие

2. Разработка рекомендаций по учету ГМУ при принятии решения о проведении мероприятий, направленных на предотвращение или минимизацию ущерба

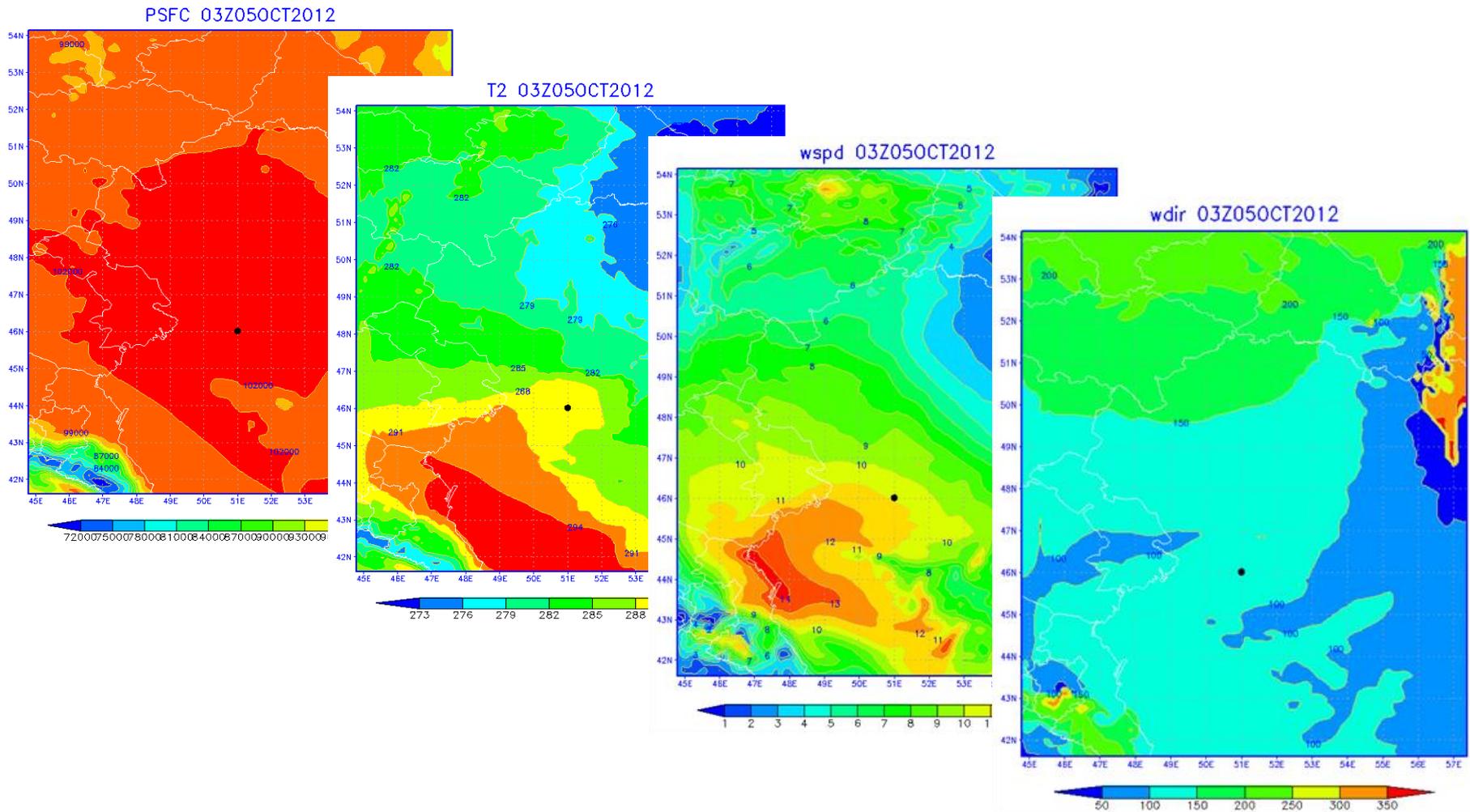
СУБД ГМИ

Назначение программно-технического комплекса:

- ✓ сбор исходной гидрометеорологической информации от мировых метеорологических центров;
- ✓ моделирование процессов в атмосфере, почве и океане и прогнозирование полей метеорологических величин, прогноз опасных природных процессов и явлений;
- ✓ архивирование фактической и прогностической информации

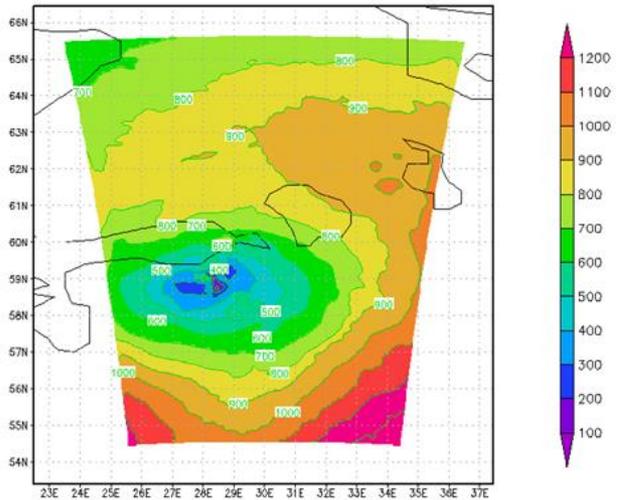


11 Прогнозирование полей метеорологических величин (1)

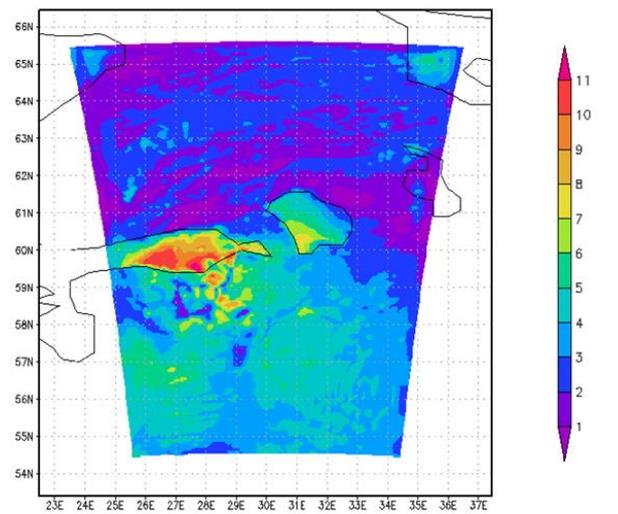


**Прогностические поля приземного давления и температуры, скорости и направления ветра (слева направо).
Прогноз на 03 час 05.10.2012, Саратовская область**

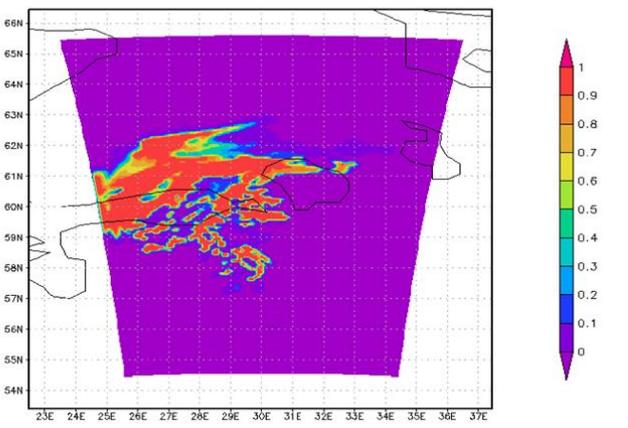
12 Прогнозирование полей метеорологических величин (2)



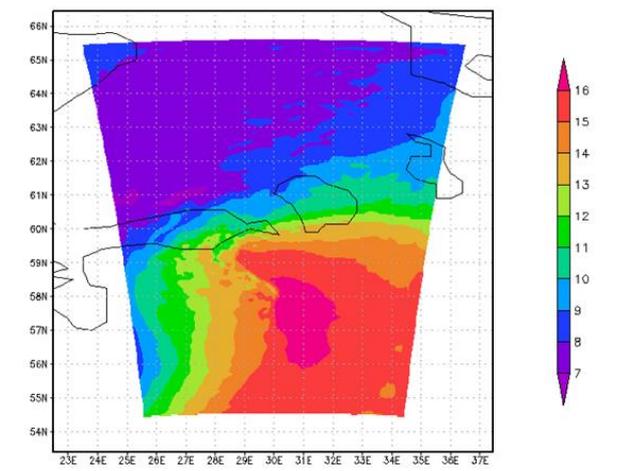
2019-10-29-20:12



2019-10-26-00:47



2019-10-26-01:14



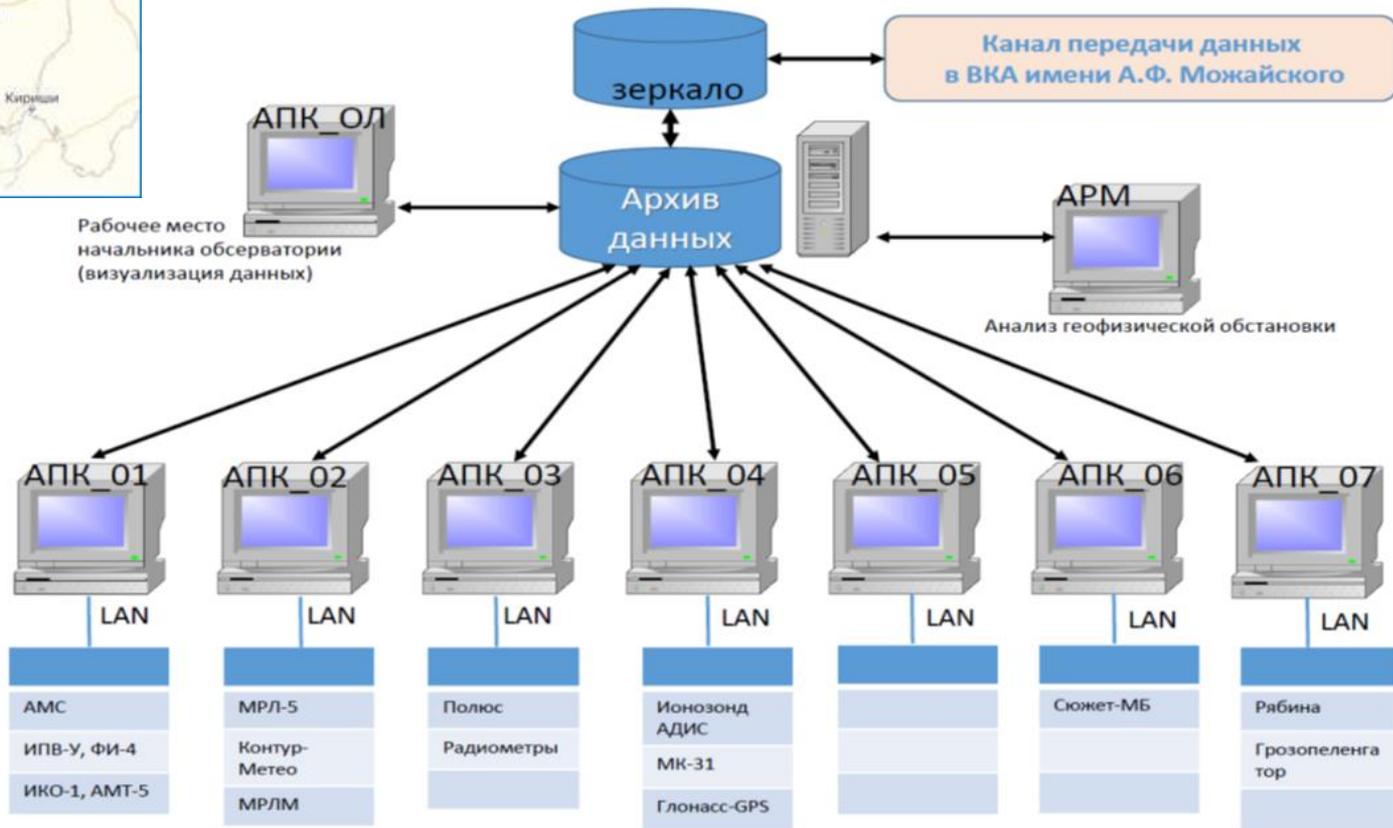
2019-10-26-01:49

Прогностические поля приземного давления, скорости ветра, облачности, температуры.
Прогноз на 18 час 14.07.2008, Ленинградская область.

13 Геофизическая обсерватория ЛЕХТУСИ

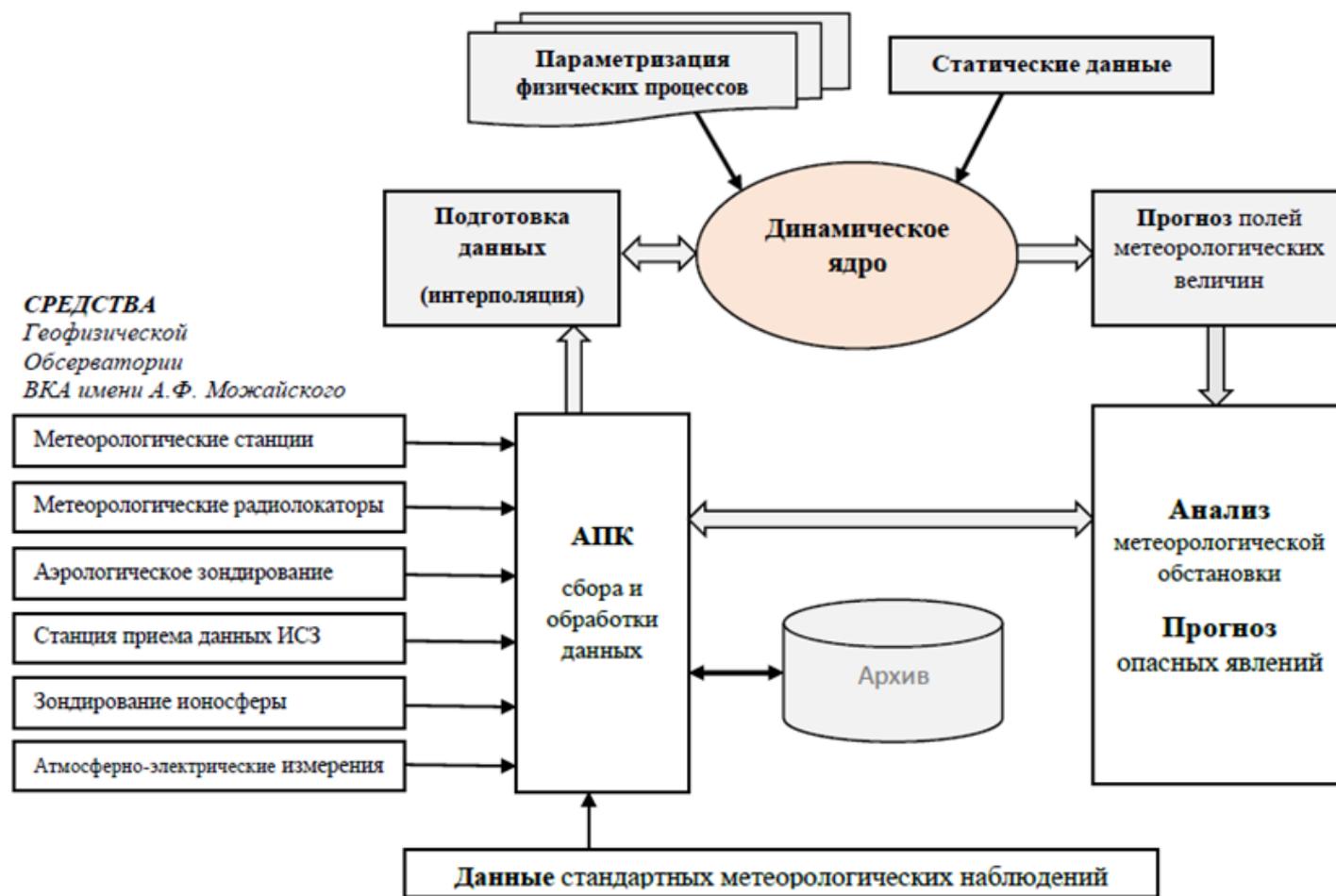


Геофизическая обсерватория ВКА имени А.Ф. Можайского создается в целях: обеспечения повышения качества образовательной деятельности академии, обеспечения испытаний новых технических средств гидрометеорологического назначения, валидации спутниковой информации и решения задач геофизического и гидрометеорологического обеспечения



Состав измерительного комплекса сбора данных геофизической обсерватории

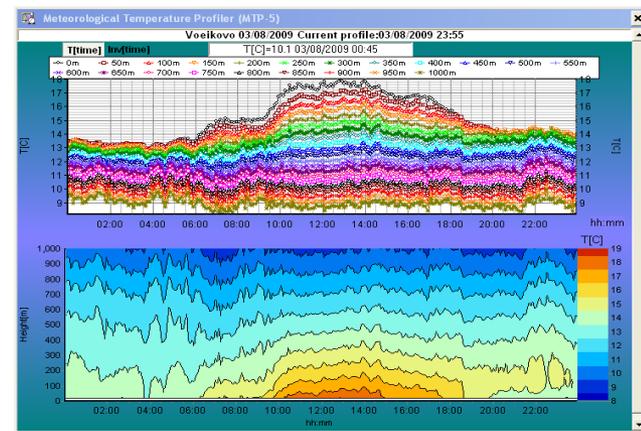
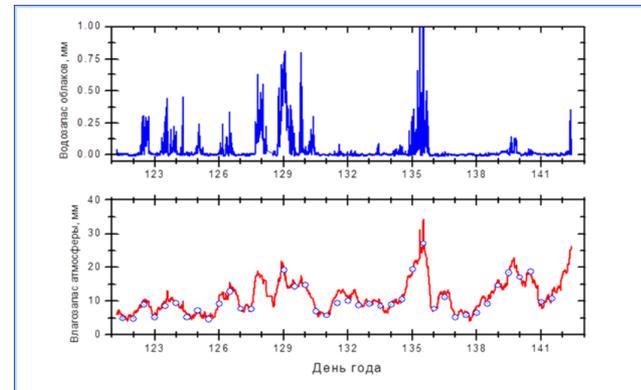
14 Перспективы развития технологии усвоения информации



Структура аппаратно-программного комплекса использования данных для прогноза ОЯП

Одна из задач: Совершенствование технологий сверхкраткосрочного прогноза опасных явлений погоды на основе данных комплексного дистанционного зондирования атмосферы с помощью средств геофизического обеспечения (МРЛ, грозопеленгаторы и приборы измерения электрического поля ПНП, СВЧ-радиометры, станции приема данных ИСЗ «Сюжет» и др.)

15 Концепция развития аэрологического зондирования атмосферы



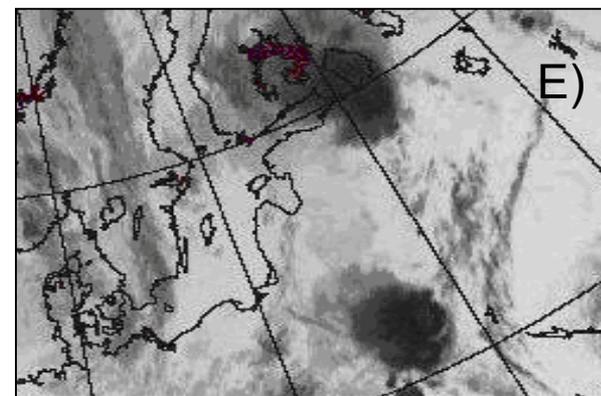
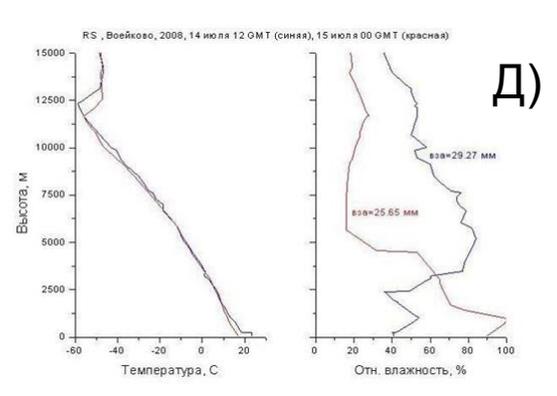
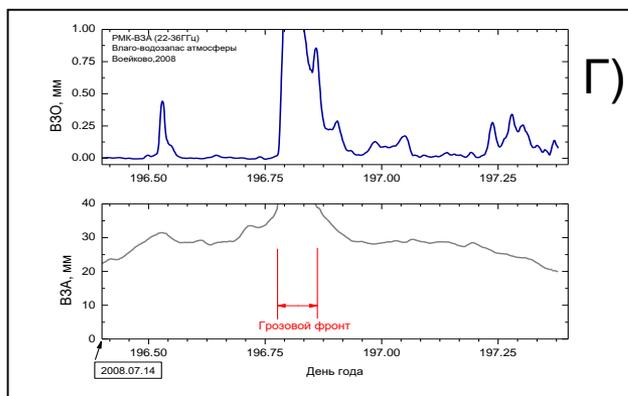
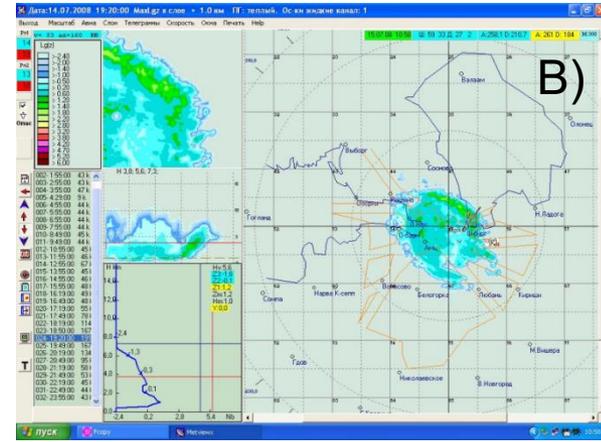
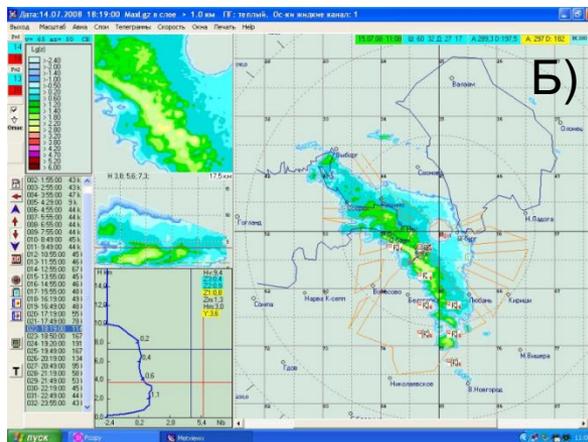
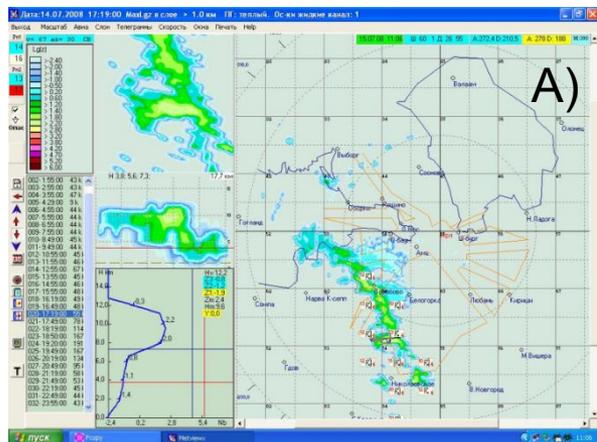
Микроволновые радиометры температурного и влажностного зондирования атмосферы:

MP3000A (Radiometrics corp., США), NATPRO (Radiometer-Physics, Германия), Микрорадком, МТП (ЦАО, НИРФИ, АТТЕХ, Россия), Радиометр влажностного зондирования (СКБ ИРЭ РАН, Москва, Россия), РВП (ИПА РАН, Санкт-Петербург, Россия)

Задачи наземных микроволновых радиометров:

- Определение влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков
- Определение профилей температуры и влажности в тропосфере
- Определение профилей температуры пограничного слоя атмосферы

16 Пример наблюдения грозового фронта



Анализируется случай наблюдения мощного грозового фронта в Северо-Западном регионе 14.07.2008. Фронт распространялся в северо-восточном направлении со скоростью около 50 км/час, сопровождался шквалистым ветром и интенсивными разрядами молний типа облако-земля. Высота верхней границы облачности достигала 13 км. Приводятся карты обзоров радиолокатора МРЛ-5, время: 17:19 (рис.А), 18:19 (рис.Б), 19:20 (рис.В). Используются данные СВЧ-радиометров по влагозапасу атмосферы и водозапасу облаков (рис.Г), результаты аэрологического зондирования п. Воейково (рис.Д), спутниковые данные Метеосат9 (рис.Е).

Предложен критерий развития опасных явлений, связанных с облаками, на основе анализа СВЧ-радиометрической и радиолокационной информации.

Д.М. Караваев, Г.Г. Шукин. СВЧ-радиометрические исследования влаго-водосодержания атмосферы в период развития конвективных облаков и гроз. Известия Вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Физика атмосфер. 2010, с.53-58.

С целью повышения безопасности и экономической эффективности авиационных перевозок актуально развитие и внедрение в практику новых технологий краткосрочного, среднесрочного, сверхкраткосрочного прогнозирования метеорологических условий в районах аэропортов (маршрутов) на основе использования современных и перспективных средств получения метеорологической информации, в том числе и средств дистанционного зондирования.

Предложены и исследованы адаптивный метод многомодельного среднесрочного прогноза полей метеорологических величин на основе комплексирования результатов гидродинамических моделей атмосферы и синоптико-статистический метод прогнозирования облачности на основе интерпретации барических полей, - результаты применения предлагаемых методов показали возможности повышения успешности прогнозов.

Перспективы совершенствования метеорологического обеспечения полетов авиации связываются с созданием современных автоматических комплексов сбора и усвоения разнородных данных дистанционных и контактных наблюдений для формирования оперативной прогностической метеорологической информации.

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ