

Методы прогноза
направления и скорости ветра
у земли и в свободной атмосфере,
прогноз струйных течений

1. Прогноз направления ветра

Прогноз направления ветра дается специалистами *синоптическим* методом. Только в интересах авиации направление ветра указывается в десятках градусов, для того, чтобы работники гражданской авиации смогли оценить встречную (попутную) и боковую составляющую скорости ветра. Так как, для обеспечения безопасности при взлете и посадке самолетов есть ограничения как по боковому, так и по встречному (попутному) ветру. При прогнозе направления ветра и даже по фактическому ветру на АМСГ определяется боковая составляющая ветра. Обычно это делается с помощью графика, представленного на рис.1.

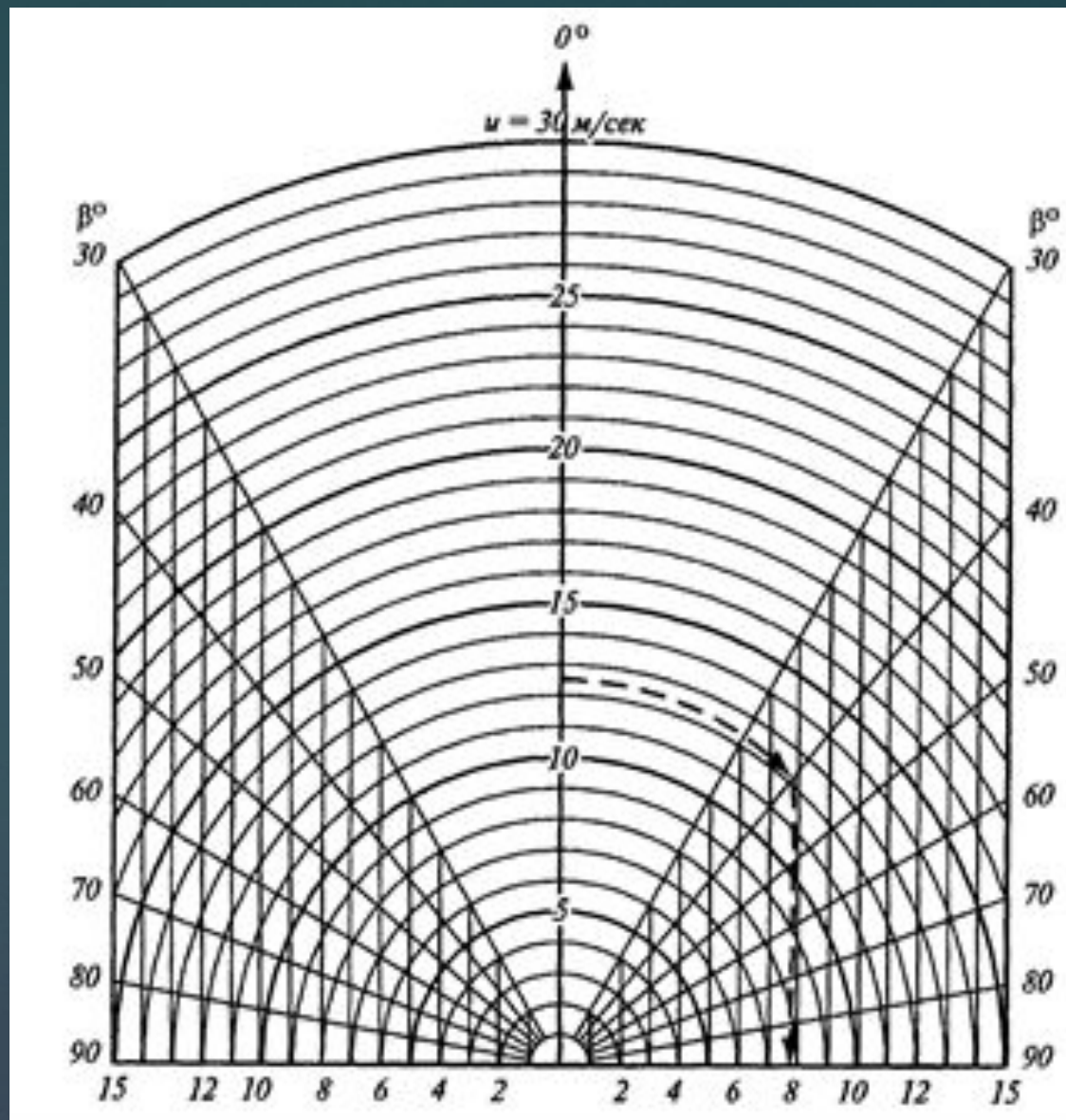


Рис. 1. Номограмма для определения боковой составляющей ветра по скорости ветра U и углу β между направлением ветра и направлением ВПП

2. Прогноз скорости ветра у земли

- Метод А. С. Зверева

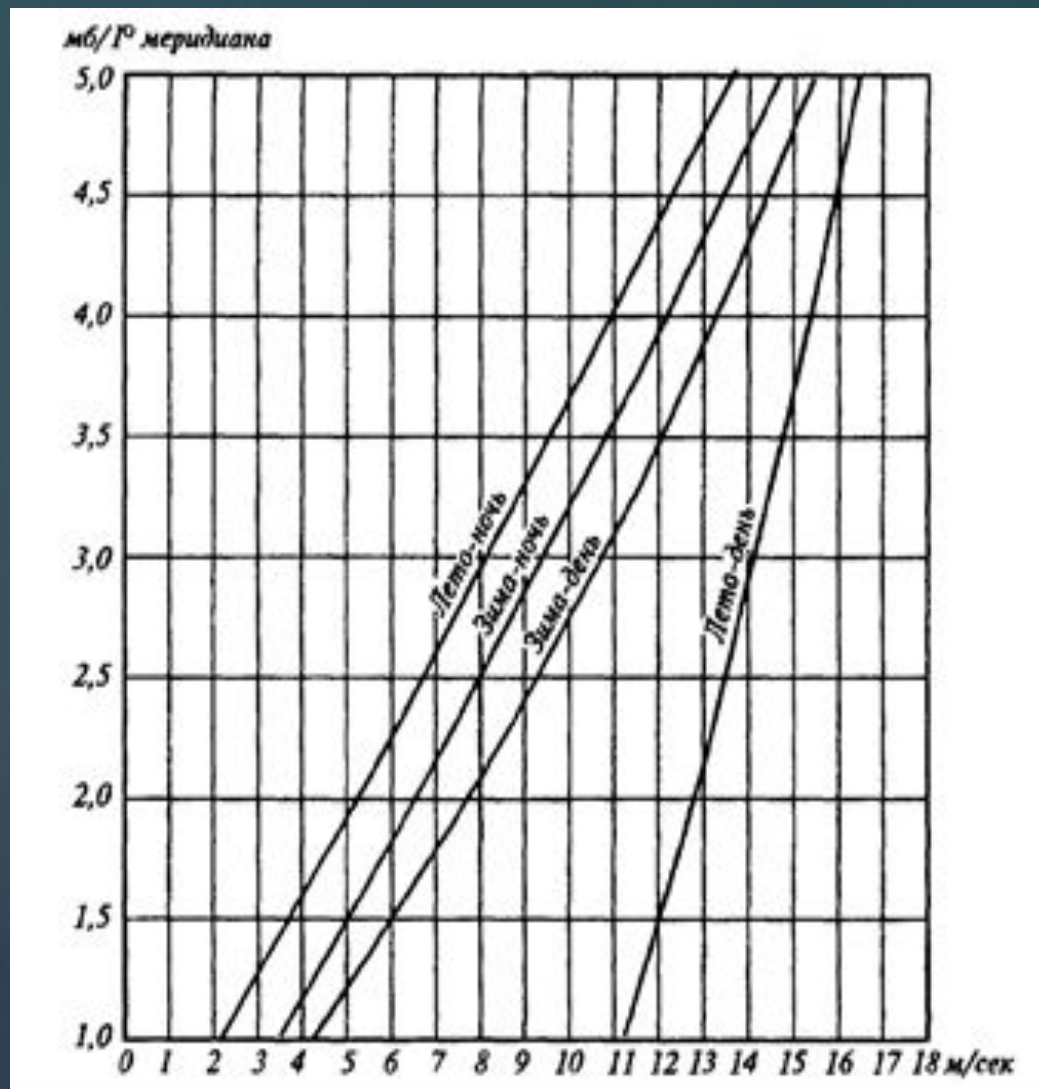


Рис. 2. График зависимости скорости ветра от величины горизонтального градиента давления

- Метод О. Г. Богаткина

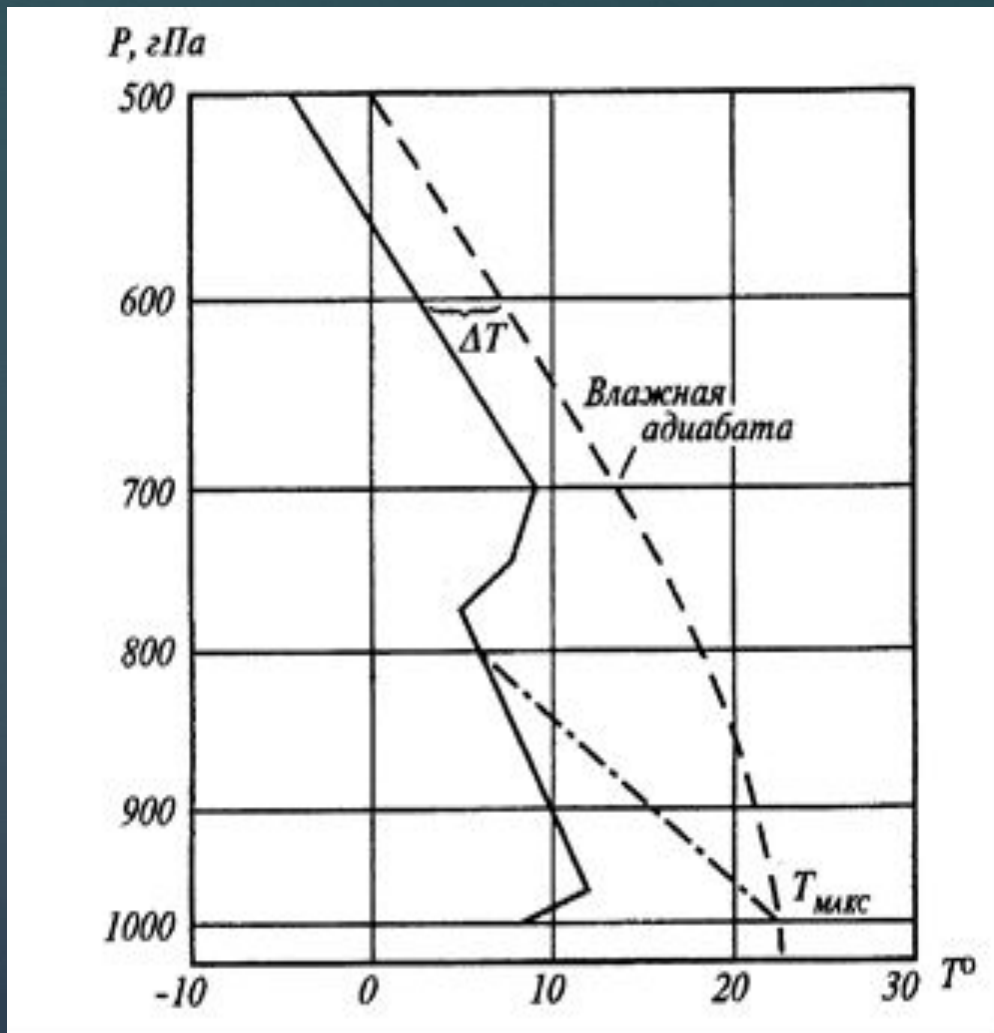
Рекомендуется определять скорость ветра по полуэмпирической формуле:

$$U = k(pp),$$

где U — скорость ветра, м/с; k — полуэмпирический коэффициент, равный $k = 2,5$ для северо-запада ЕЧР; (pp) — барометрическая тенденция, гПа/3 ч, взятая по абсолютной величине за последний срок наблюдений.

Эта формула дает вполне удовлетворительные результаты, особенно в зоне холодного фронта.

- Прогноз максимального ветра при грозах по аэрологической диаграмме



От спрогнозированного значения $T_{\text{макс}}$ у земли нужно подняться сразу по влажной адиабате до уровня 600 гПа и на этом уровне следует определить величину ΔT , равную разности между температурой на влажной адиабате и на кривой стратификации. Максимальная скорость ветра при этом определится выражением: **$U_{\text{макс}} = 2\Delta T$** , где U — скорость ветра, м/с; ΔT — в градусах

Рис. 3. График для прогноза максимальных порывов ветра у земли при грозах

- Б. Е. Песков и А. И. Снитковский методика прогноза шквалов

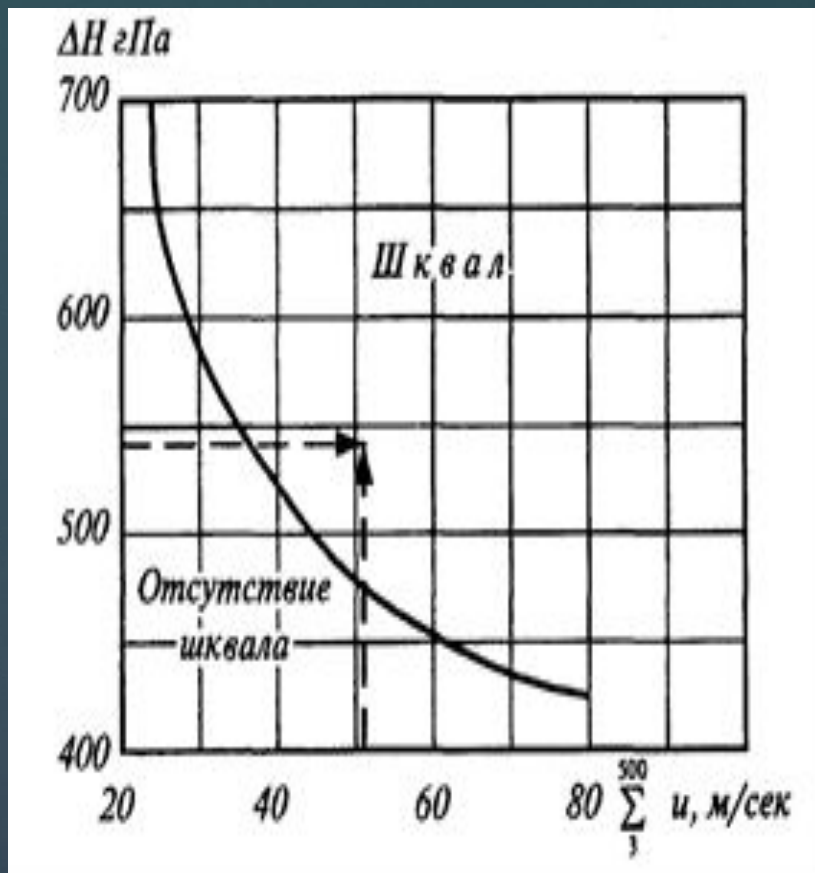


Рис.4. График для определения возможности

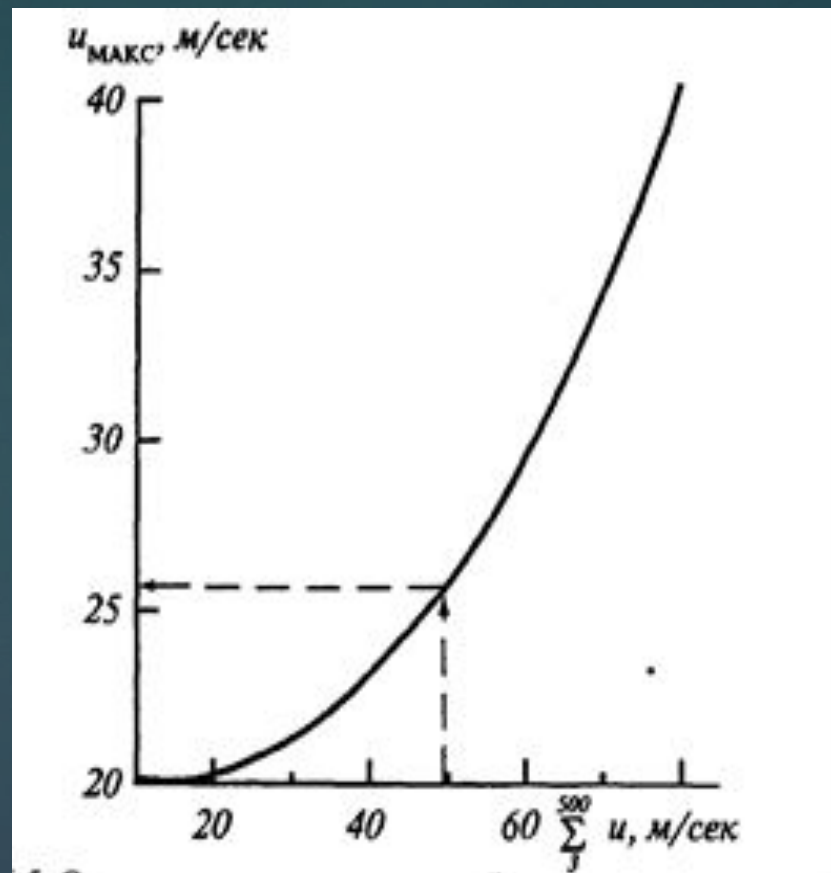


Рис.5. Определение максимальной скорости ветра при шквале

- Прогноз ветра у земли по данным о ветре на уровне АТ-850 гПа

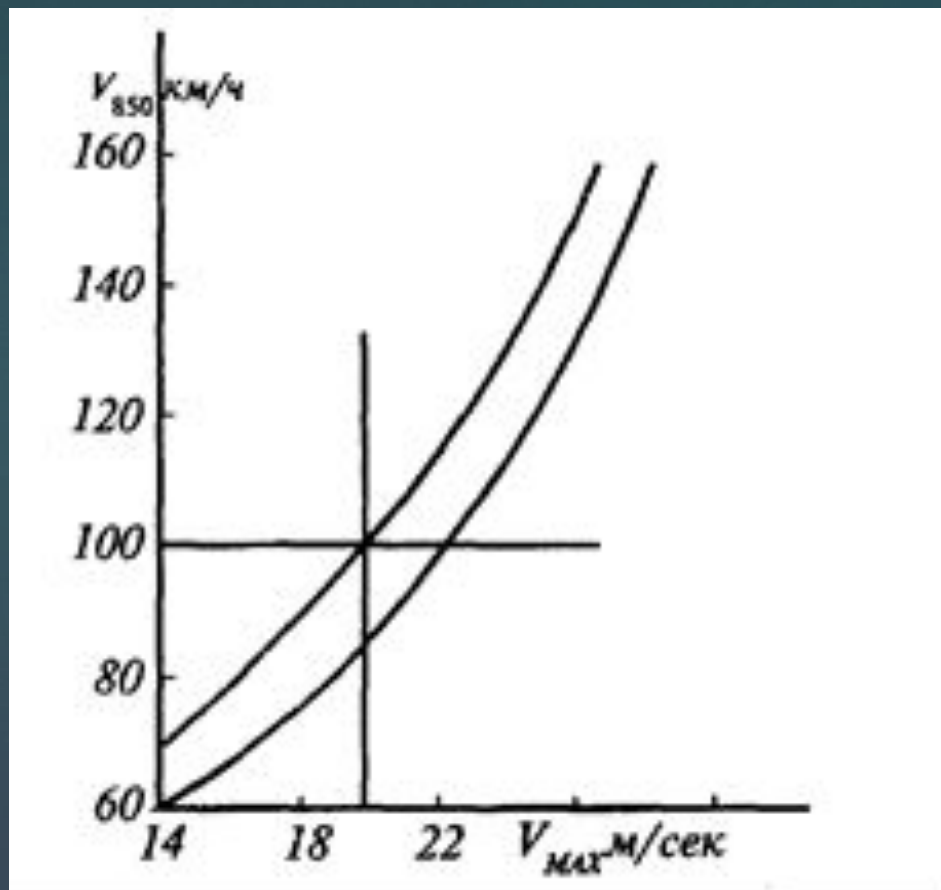


Рис. 6. График для прогноза скорости ветра у земли по данным о ветре на уровне 850 гПа

- Метод прогноза скорости ветра у земли по данным о ветре на уровне 850 гПа по В. М Ярковой

Таблица 1. Определение скорости ветра у земли по данным о ветре на уровне 850 гПа

Ветер у земли, м/с		
К = 1,0	К = 0,7	К = 0,5
10–14	5–9	Слабый
15–19	10–14	5–9
20–24	15–19	10–14
25–29	20–24	10–14
30–35	25–29	15–19

Величина коэффициента К выбирается в зависимости от синоптической ситуации. Если не выполняется хотя бы одно условие, то $K = 0,7$, а в однородной воздушной массе $K = 0,5$.

- Скорость ветра у земли в зоне фронта

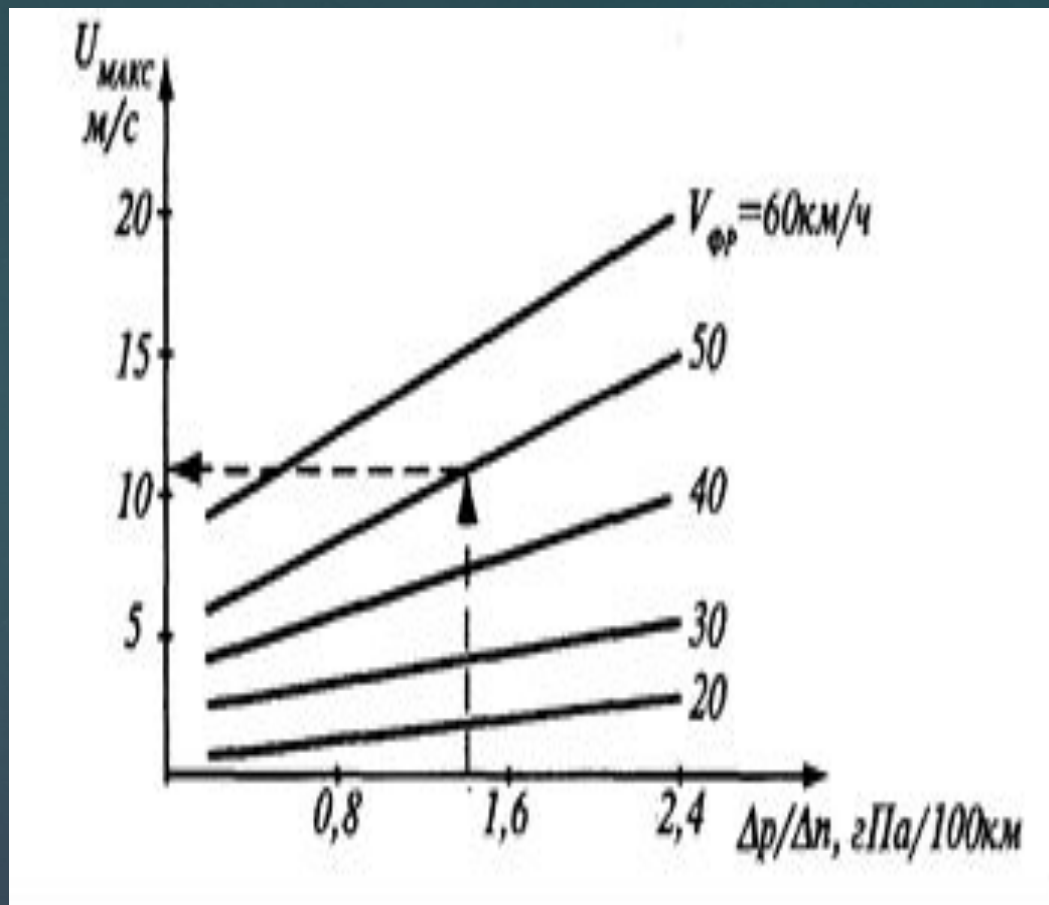


Рис. 7. График для определения скорости ветра в зоне фронта

- Метод прогноза скорости ветра при шквале
Новосибирск

Исходными данными для прогноза является величина

$$\Delta T = T_{\text{макс}} - T_a,$$

где ΔT — величина, на которую понижается температура воздуха при ливне; $T_{\text{макс}}$ — прогностическое значение максимальной температуры воздуха; T_a — значение температуры, для определения которой нужно от уровня конденсации (на бланке аэрологической диаграммы за утренний срок) опуститься по влажной адиабате до значения давления у земли.

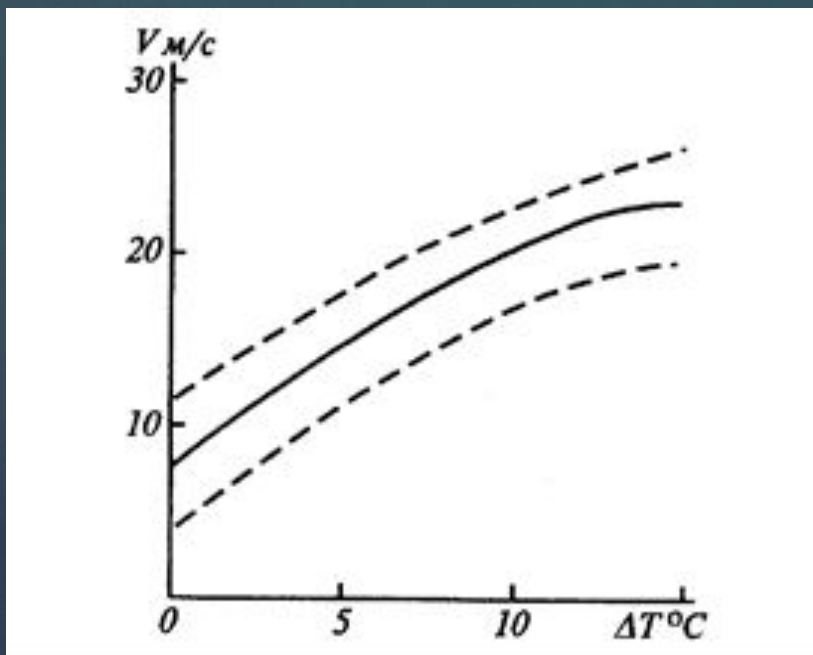
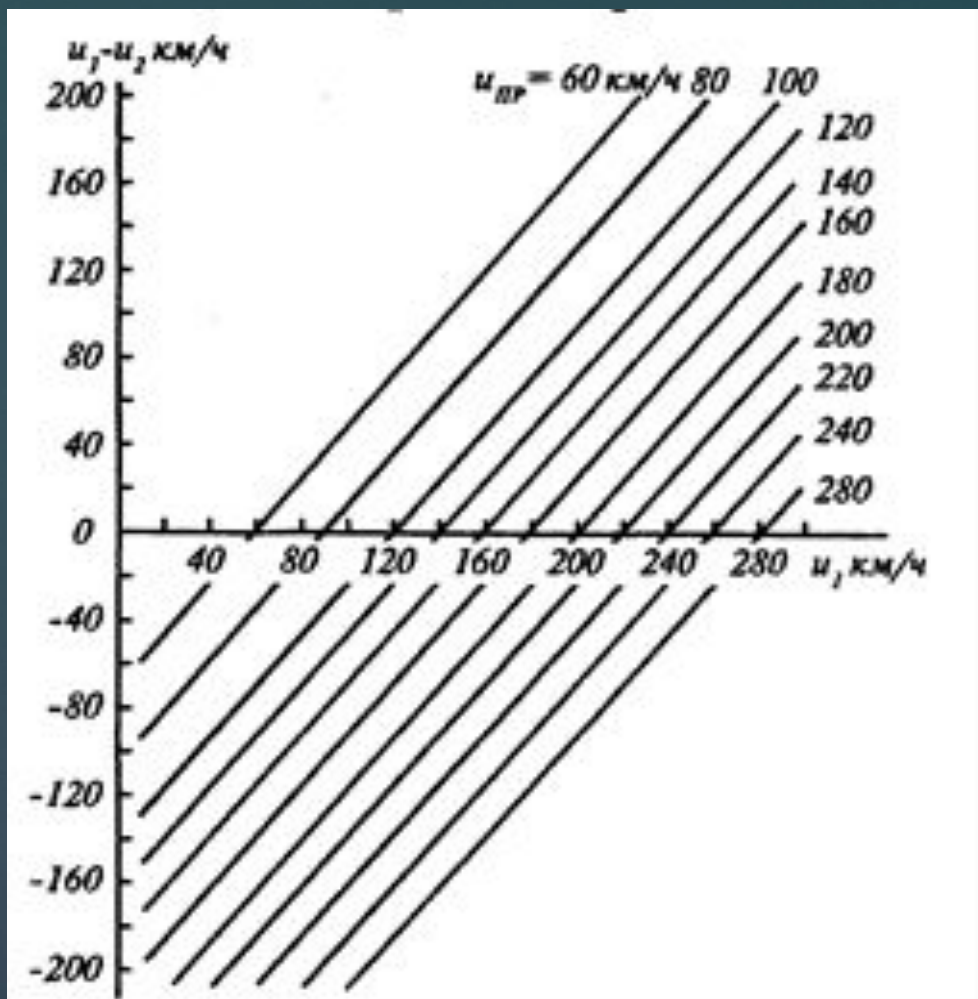


Рис. 8. График для определения скорости ветра при шквале, используемый в Новосибирске

3. Прогноз скорости ветра в СА

Поля ветра в свободной атмосфере прогнозируются в крупных прогностических центрах современными численными моделями. Для обеспечения полетов по маршрутам большой протяженности используется прогностическая продукция глобальных моделей. Всемирные центры зональных прогнозов ИКАО (Вашингтон и Лондон) выпускают информацию о полях ветра и передают ее по каналам связи в коде GRIB каждые 6 ч на фиксированные сроки 6, 9, 12, ... и 36 ч для следующих эшелонов полета (все, кроме первого, можно считать относящимися к свободной атмосфере): FL50 (850 гПа), FL100 (700 гПа), FL140 (600 гПа), FL180 (500 гПа), ... и FL530 (100 гПа). В настоящее время численные прогнозы ветра и температуры составляются Всемирными центрами зональных прогнозов (ВЦЗП) с использованием регулярной сетки с горизонтальной разрешающей способностью $1,25^\circ$ широты и долготы.

- Прогноз ветра в СА методом Ильиной Э.С.



Горизонтальная ось — фактическая скорость ветра (U_1), вертикальная ось — разность ($U_1 - U_2$), где U_2 - скорость ветра на расстоянии в 1000 км от точки прогноза против потока.

Рис. 9. Номограмма для прогноза скорости ветра на высотах на 24 часа по методу Э. С. Ильиной

4. Прогноз струйных течений

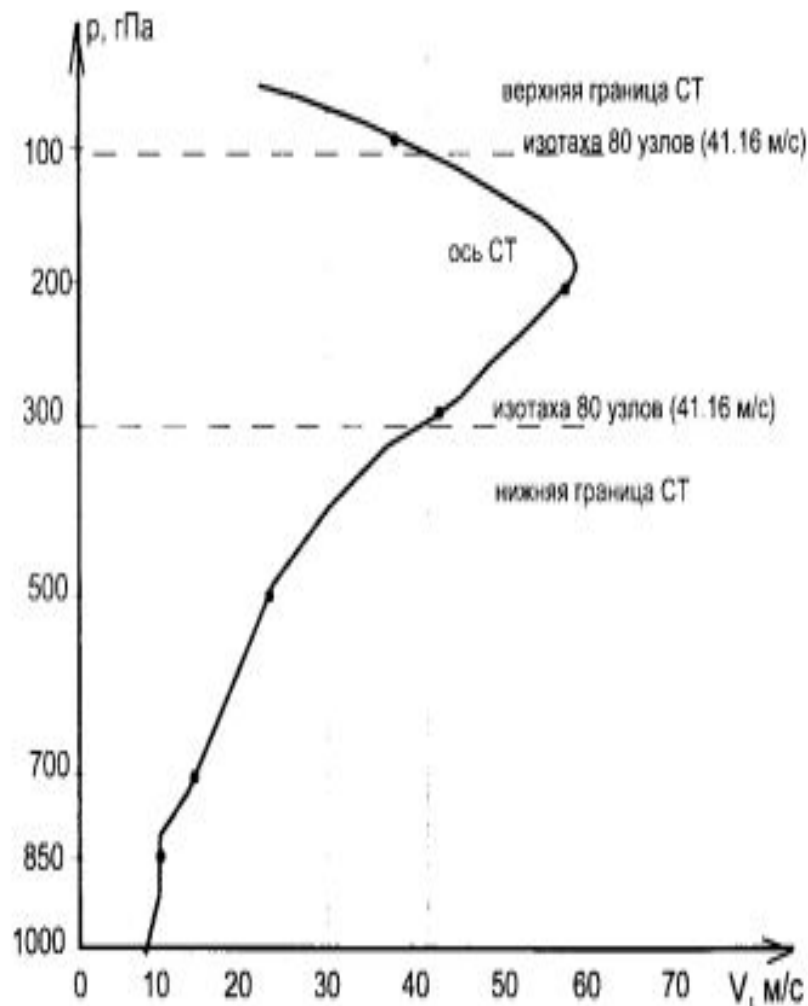


Рис. 3.3. Восстановление профиля ветра со струйным течением по данным на стандартных изобарических поверхностях.

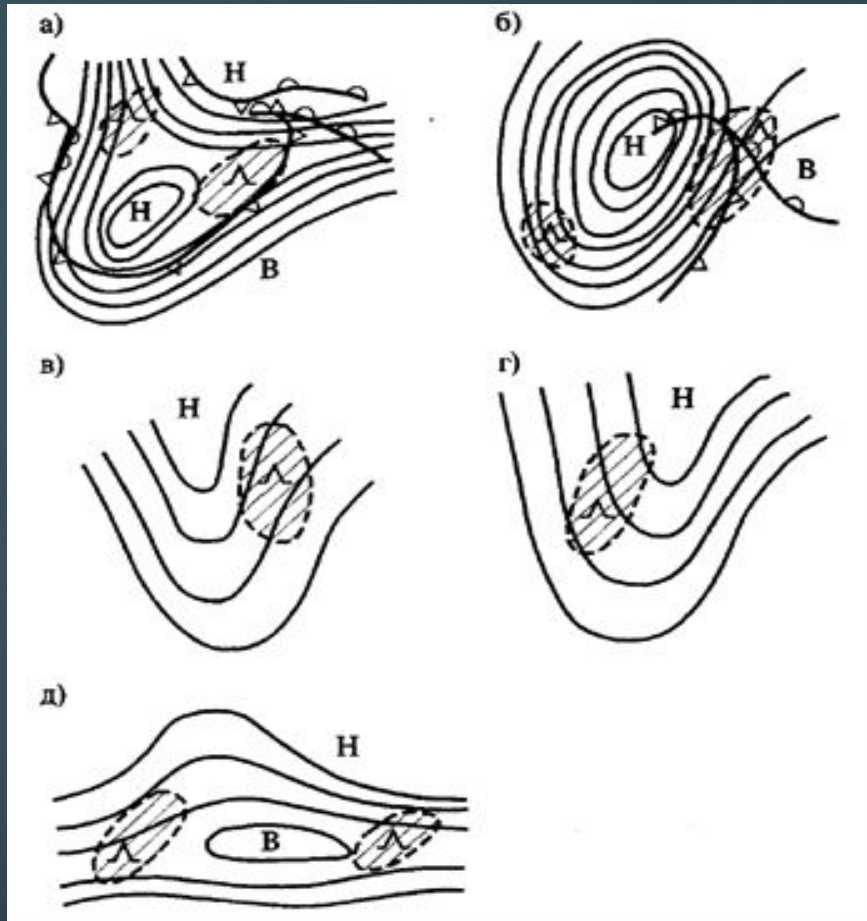
На этом профиле производится поиск максимума. Это и будет максимальный ветер в данном узле сетки; уровень, на котором достигается этот максимум, будет расчетным уровнем максимального ветра (осью СТ). Если максимальный ветер больше 80 узлов, т. е. больше 41 м/с, то определяются также высоты изотаксы 80 узлов над и под уровнем максимального ветра.

Методы прогноза атмосферной турбулентности

- **Механическая турбулентность** является функцией скорости ветра у поверхности Земли, шероховатости земной поверхности, а также взаимного расположения направления ветра и направления хребта. Возмущения, возникающие за счет неровностей земной поверхности, приводят к образованию сильных восходящих и нисходящих потоков, которые и вызывают болтанку ВС.
- **Термическая турбулентность** образуется за счет неравномерного нагрева земной поверхности или при адвекции холодного воздуха на теплую подстилающую поверхность.
- **Динамическая турбулентность** возникает в атмосфере в тех слоях, где наблюдаются большие вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра и температуры.
- Ученых многих стран привлекает проблема **турбулентности ясного неба (ТЯН)**. Это связано с обеспечением безопасности полетов в метеорологическом отношении. ТЯН наиболее опасный вид турбулентности, так как всегда оказывается внезапной для экипажа.

1. Синоптический метод прогноза атмосферной турбулентности

- Метод Пчелко И. Г.



**а — барическое поле, выраженное глубокой ложбиной;
б — высотный циклон;
в — передняя часть ложбины;
г — тыловая часть ложбины;
д — область высотного гребня**

Рис.1. Распределение и положение зон болтанки при различных типах синоптических ситуаций

- ✓ **Холодные фронты I и II родов на приземной карте.**
Повторяемость болтанки на холодных фронтах наибольшая по сравнению с другими атмосферными фронтами;
- ✓ **Теплый фронт или фронт окклюзии,** связанные с четко выраженными высокотропосферными струйными течениями;
- ✓ **Высокотропосферные или стратосферные струйные течения;**
- ✓ **Периферия циклона, ложбина, гребень;**
- ✓ **Наличие облачности на эшелоне полета;**
- ✓ **Адвекция холода;**
- ✓ **Значительное усиление ветра на эшелоне полета.**

2. Физико-статистические методы прогноза атмосферной турбулентности

- **Графический метод** : Строят вертикальные профили скорости, направления ветра и температуры воздуха, то для каждого линейного участка профиля вертикальные градиенты соответствующих метеорологических величин будут характеризоваться наклоном рассматриваемого участка кривой распределения к горизонтальной оси. Чем **меньше** угол наклона между построенными кривыми и горизонтальной осью, тем **больше** вертикальный градиент данной метеорологической величины. В качестве критериев при диагнозе и прогнозе болтанки используется понятие критических значений вертикальных градиентов. Методика выделения зон болтанки самолетов сводится к тому, что по построенным профилям ветра и температуры воздуха для каждого линейного участка определяется угол наклона вертикального профиля к горизонтальной оси и сравнивается с критическим значением.

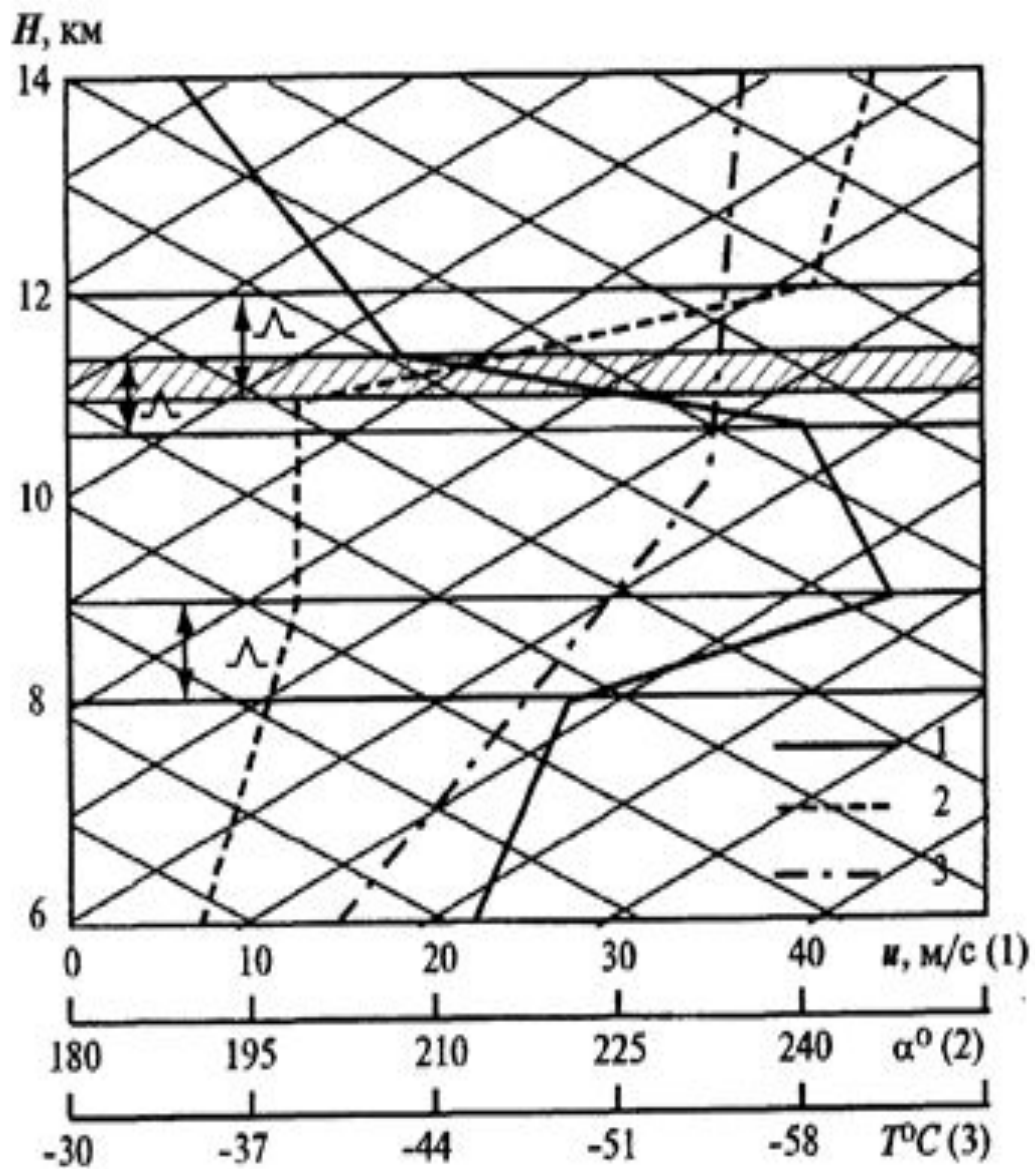


Рис. 2. Графический метод прогноза болтанки самолетов

- Метод комплекса критериев

По данным температурно-ветрового зондирования определяются шесть критериев турбулентности:

1. скорость ветра 25 м/с и более;
2. верт. град. скорости ветра - 10 м/с на 1 км;
3. гориз. град. скорости ветра - 5 м/с на 100 км;
4. верт. сдвиг направления ветра — 15° на 1 км;
5. верт. град. температуры воздуха — 7°C на 1 км;
6. гориз. град. температуры воздуха — 2°C на 100 км.

Если на высоте полета одновременно выполняются не менее трех любых критериев, то следует указывать болтанку.

Прогноз термической и
механической турбулентности
на основе численного
моделирования

- Термическая турбулентность

Для каждого узла строится кривая стратификации температуры до высоты поверхности 400 гПа и кривая состояния частицы. По двум этим кривым определяется разность температур ΔT поднимающейся частицы и окружающего воздуха и находится ΔT_{\max} - максимальное значение указанной разности в пределах слоя от земли до поверхности 400 гПа. Затем с помощью табл. 1 оценивается интенсивность ожидаемой термической турбулентности, и программа переходит к расчетам в соседнем узле. Полученные оценки интенсивности термической турбулентности наносятся на карту и визуализируются.

Таблица 1. Зависимость интенсивности термической турбулентности от величины ΔT_{\max}

$\Delta T_{\max}, ^\circ\text{C}$	Интенсивность турбулентности
0-3	Слабая
4-6	Умеренная
≥ 7	Сильная

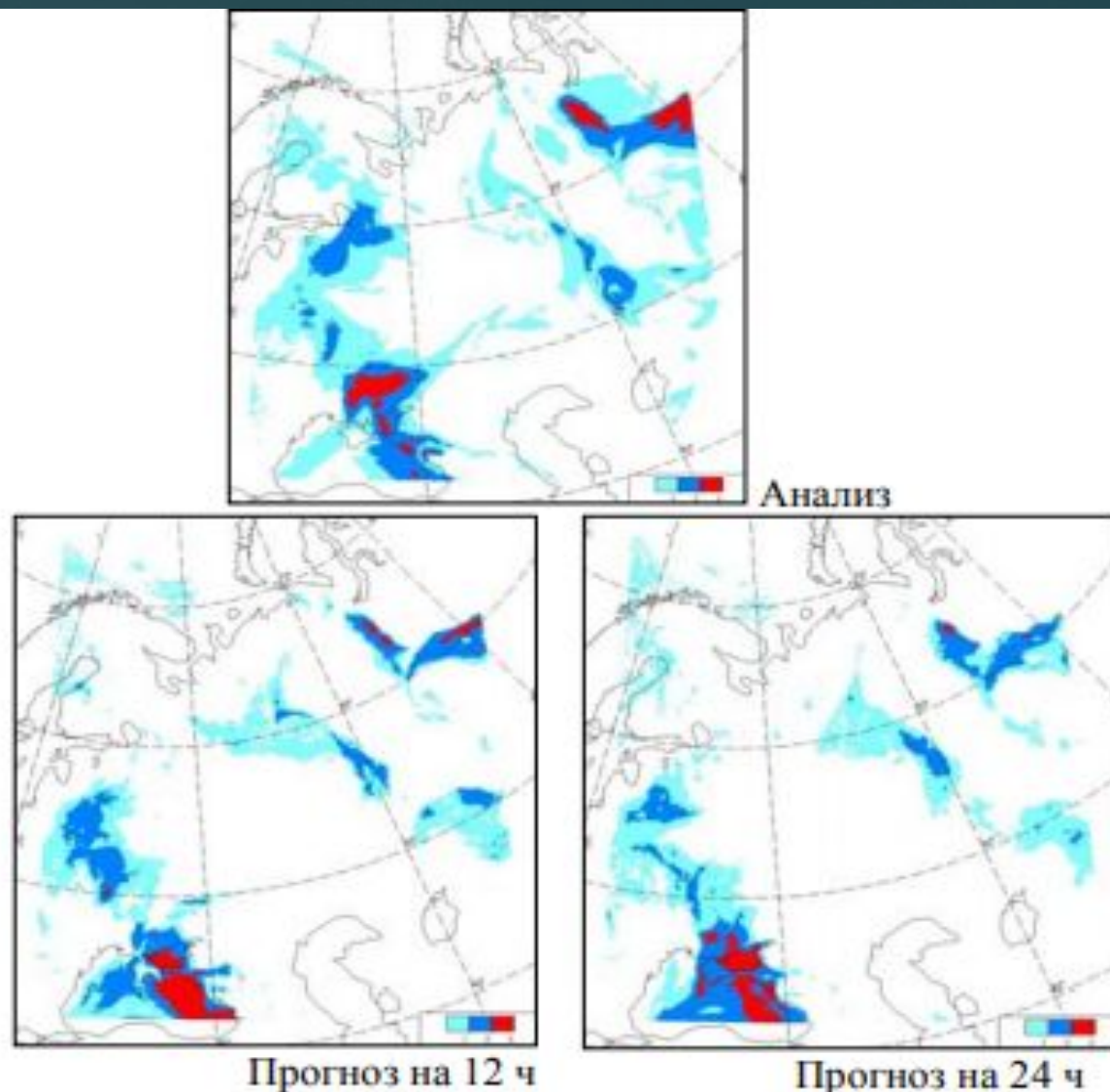


Рис. 1. Анализ и прогноз по модели COSMO-Ru7 интенсивности термической турбулентности в 00 ч ВСВ 15.06.2012 г., 12.00.

Голубым, синим и красным цветом обозначены области слабой, умеренной и сильной термической турбулентности соответственно.

- **Механическая турбулентность**

В современных моделях рассчитываются либо поток количества движения M , либо коэффициент торможения C_D . Кроме того, прогнозируется скорость ветра на модельных уровнях. В частности, в модели **COSMO-Ru** прогнозируется C_D . На основе этой прогностической информации рассчитывается поток количества движения:

$$M = \rho C_D V^2$$

Плотность и скорость ветра берутся на поверхности 1000 гПа. С помощью модельных значений C_D в каждом узле сетки рассчитывается величина M (Па). Затем оценивается интенсивность ожидаемой механической турбулентности, используя эмпирическую зависимость, представленную в табл. 2.

Таблица 2. Эмпирические соотношения между величинами потока количества движения M и интенсивностью механической турбулентности

Значения M , Па	Интенсивность турбулентности
0,50–0,75	Слабая
0,75–1,5	Умеренная
1,6–3,0	Сильная
> 3,0	Очень сильная

Расчитав интенсивность механической турбулентности в каждом узле модельной сетки, программа строит поле этой величины и затем соответствующую карту. Такие расчеты производятся в Гидрометцентре России на основе прогностической продукции модели COSMO-Ru.

После рассчитанные поля интенсивности термической и механической турбулентности совмещаются. Получаемое поле результирующей турбулентности визуализируется в виде карты и передается потребителю как прогностическая карта турбулентности на нижних уровнях (рис. 3).

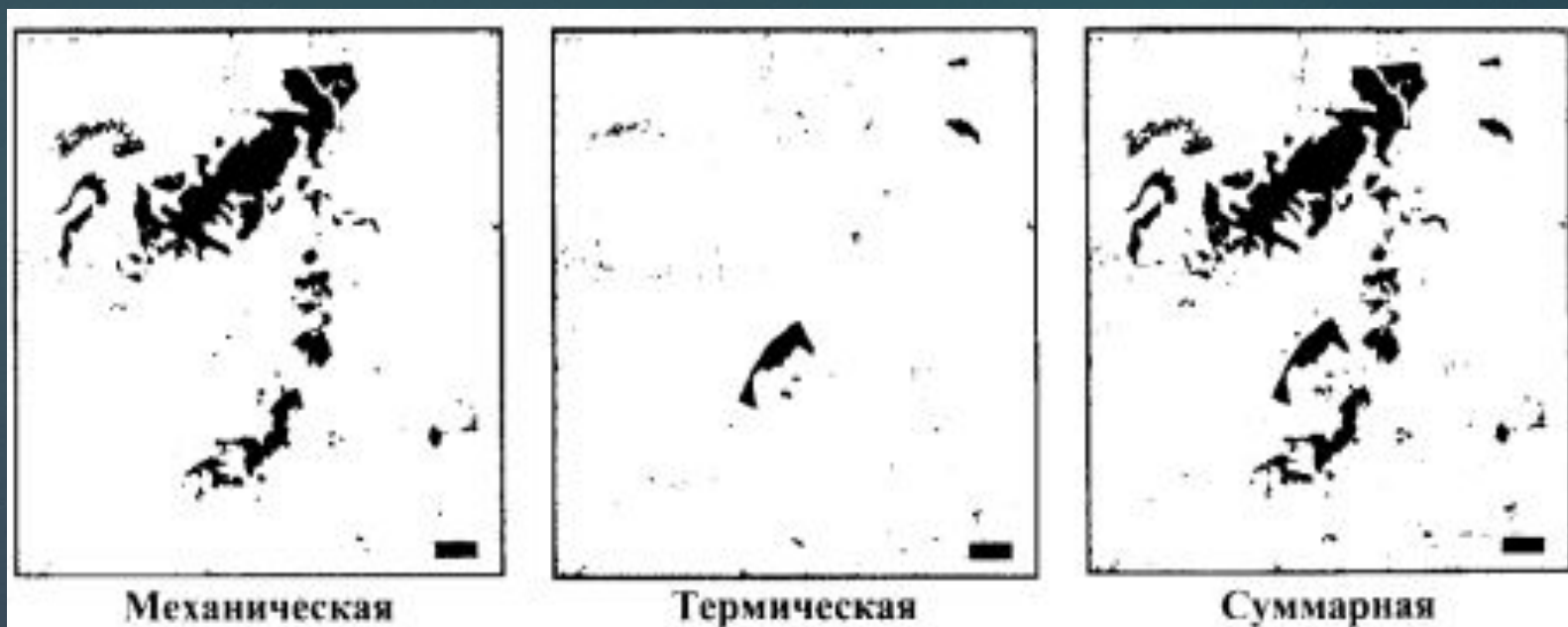


Рис. 2.61. Формирование поля интенсивности турбулентности на нижних уровнях (численный прогноз по модели COSMO на 24 ч на срок 00 ч ВСВ 30.08.2012 г.): голубой цвет – слабая; синий – умеренная; красный – сильная турбулентность.

