



Национальный
исследовательский
Томский
государственный
университет



КОНВЕКТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ АТМОСФЕРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ФОНЕ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Д.г.н. В.П. Горбатенко, к.ф.-м.н. К.Н. Пустовалов

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ,
ЭКОЛОГИИ, КЛИМАТА СИБИРИ
(к 50-летию образования ФГБУ «СибНИГМИ»),
г. Новосибирск, октябрь 2021 г.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Над территорией Западной Сибири чрезвычайные ситуации, обусловленные развитием глубокой мезомасштабной конвекции, в последнее десятилетие повторяются гораздо чаще, чем до 2000 г. Причем замечено увеличение:

- конвективной облачности,
- ливневых осадков,
- гроз, града, смерчей.

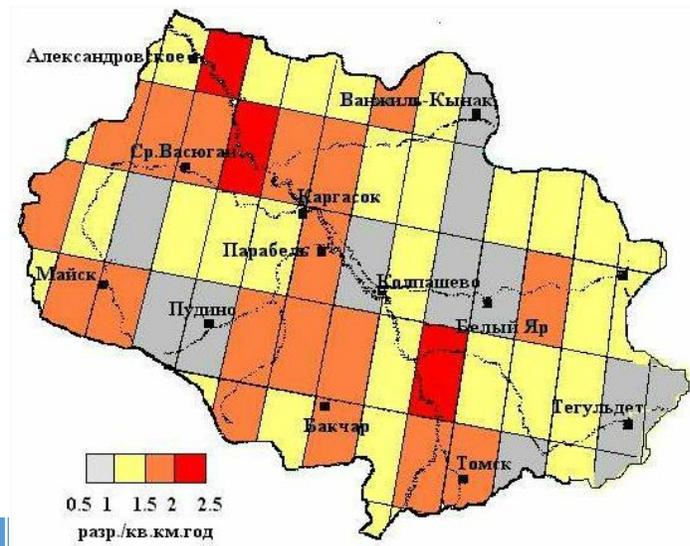
Увеличилось и число циклонов образующихся над Западной Сибирью и оказывающих влияние на увеличение повторяемости опасных конвективных явлений.

Есть все основания предполагать усиление над Западной Сибирью условий, благоприятствующих развитию мезомасштабной конвекции трех подгрупп:

α -мезомасштаб (200—2000 км); 2 β -мезомасштаб (20—200 км); 3 γ -мезомасштаб (2—20 км).

Увеличилось не только число дней с грозой и градом, но и размеры конвективных очагов и продолжительность их жизни. Это иллюстрируют станции, регистрирующие выпадение града в одни и тот же день. Станции расположены на расстояниях часто превышающих 200 км.

Время регистрации позволяет предполагать, что град иногда является продуктом одного и того же комплекса конвективных ячеек.



Метеостанция/ номер	Географические координаты		Время выпадения града, часы	Продолжительность, минуты
	Широта, ° с. ш.	Долгота, ° в. д.		
15.05.2020г				
Майск	57,8	77,2	13:27	1
Напас	59,9	82,0	13:29	1
19.06.2020				
Александровское			5:45	3
Александровское	60,5	77,8	6:54	2
20.07.2020г.				
Белый Яр	58,5	85,1	4:50	15
Степановка	58,7	86,8	7:45	5
Колпашево	58,3	83,9	8:58	2

Есть несколько важных характеристик приземного слоя атмосферы, поддерживаемых состоянием подстилающей поверхности, которые усиливают вероятность развития неустойчивости атмосферы и формирование конвективных процессов.

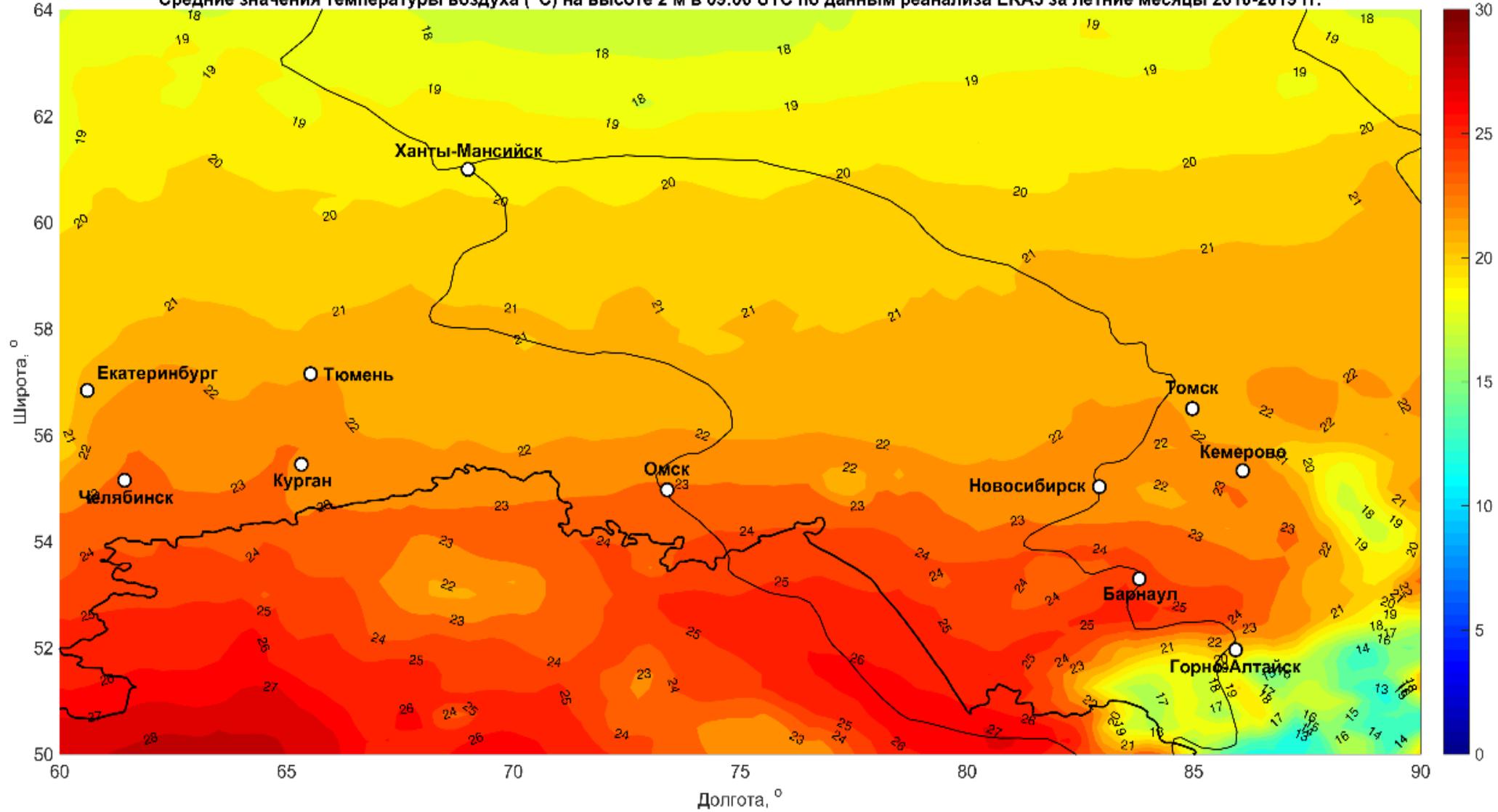
Главная – **это стратификация температуры** в свободной атмосфере, которая формирует энергию неустойчивости и усиление восходящих конвективных движений.

Важнейшим фактором, приводящим к развитию опасных конвективных явлений, **является высокая влажность** в пограничном слое атмосферы, формирующаяся за счет испарения с подстилающей поверхности. Например, для образования Сb необходимо наличие высоких значений точки росы у поверхности земли — не ниже 14—16 °С и высокое влагосодержание в слое атмосферы 850-700 гПа.

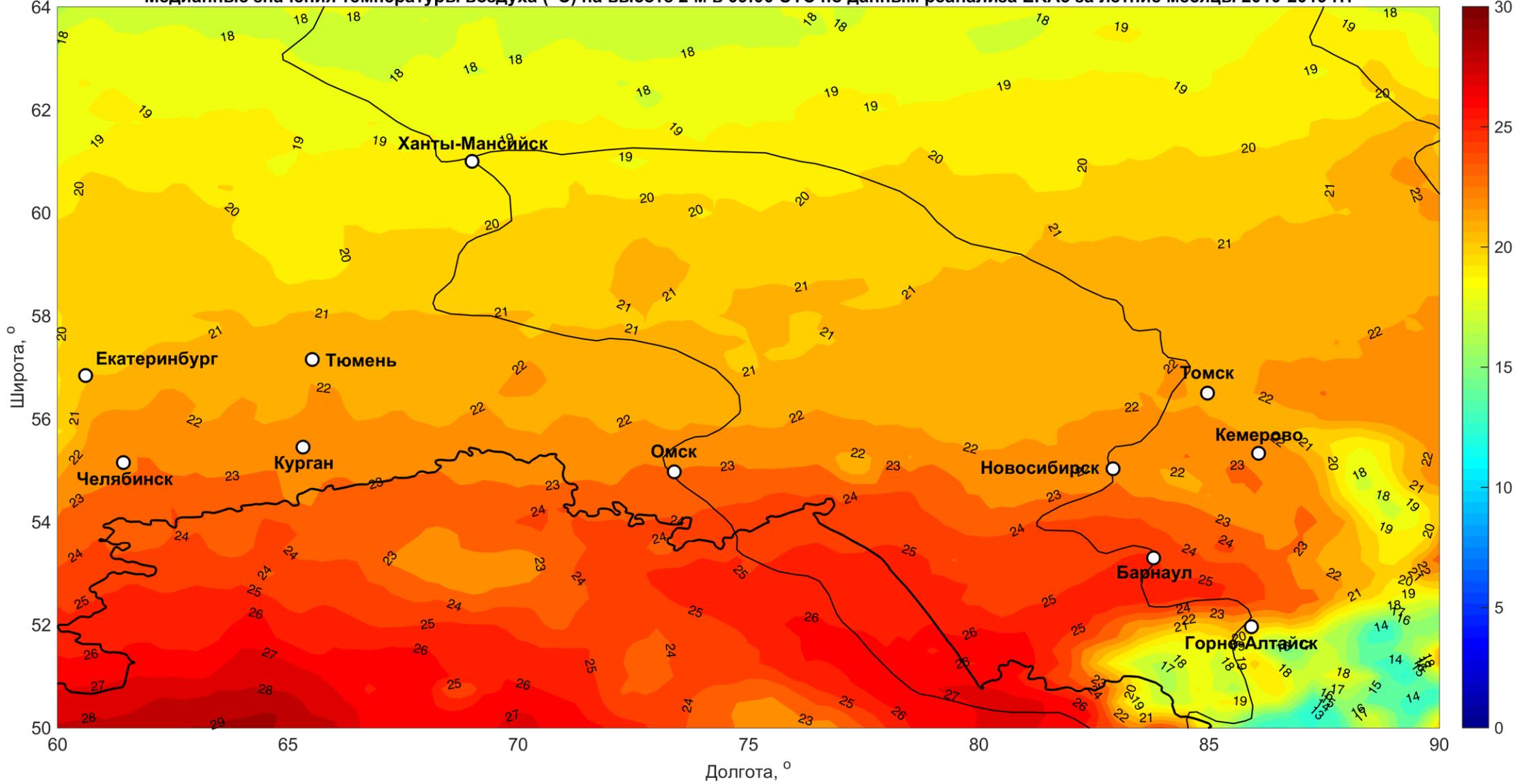
Заключающим звеном в цепочке важнейших факторов является Лапласиан приземного давления. **Лапласиан приземного давления** (ΔP) характеризует конвергенцию воздушных масс в нижнем слое тропосферы, благоприятствующую развитию восходящих движений.

- Целью настоящей работы является анализ полей температуры воздуха, давления и скорости восходящих потоков над территорией Западной Сибири за период 1990-2019гг.
- Значения температуры воздуха, давления у поверхности земли, скорости вертикальных движений, индекса неустойчивости атмосферы (Kind) определялись в узлах сетки $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ по данным реанализа ERA5 (ECMWF).
- Территория исследований расположена между $50 - 64^\circ$ с.ш. и $60-90^\circ$ в.д.,

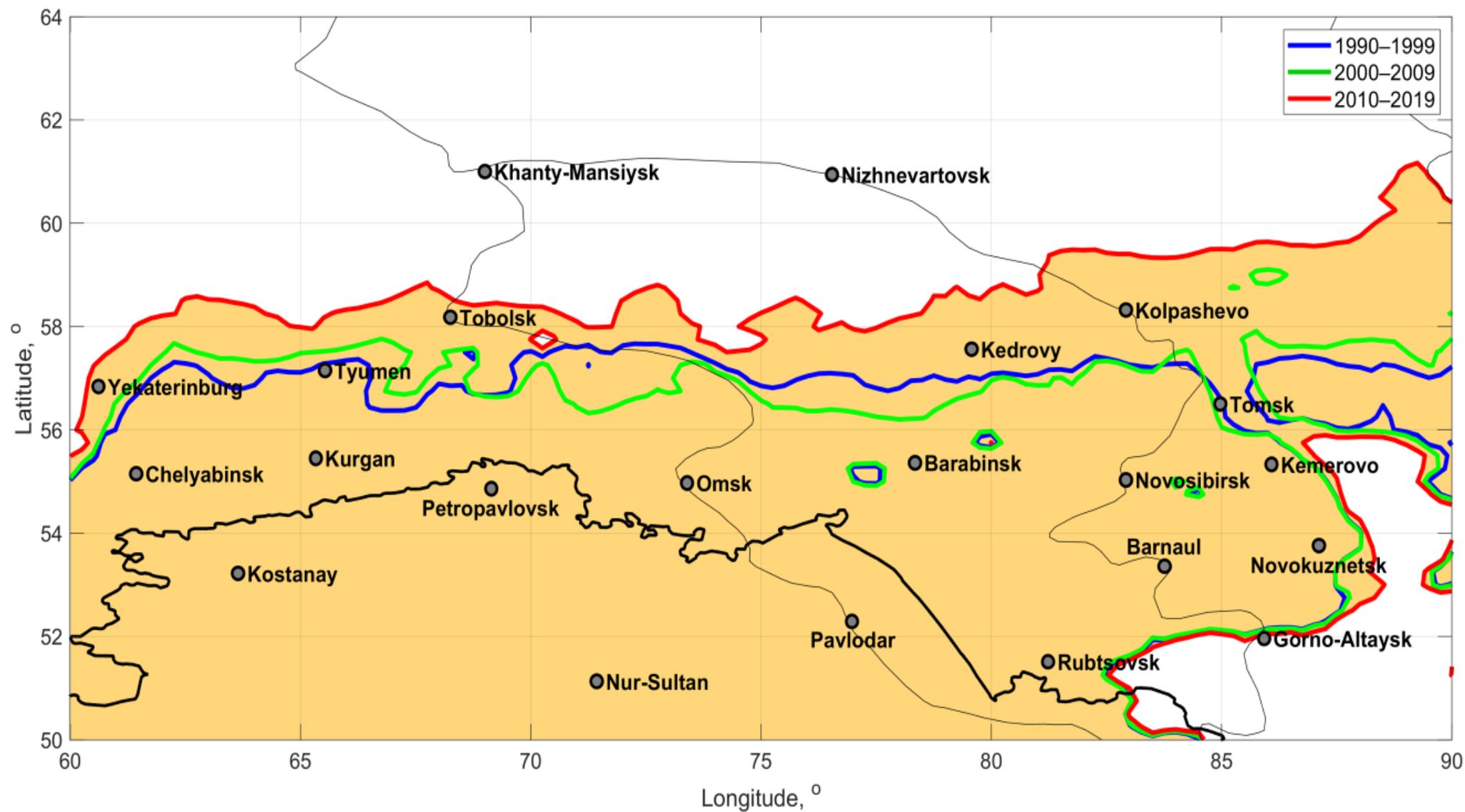
Средние значения температуры воздуха (°C) на высоте 2 м в 09:00 UTC по данным реанализа ERA5 за летние месяцы 2010-2019 гг.



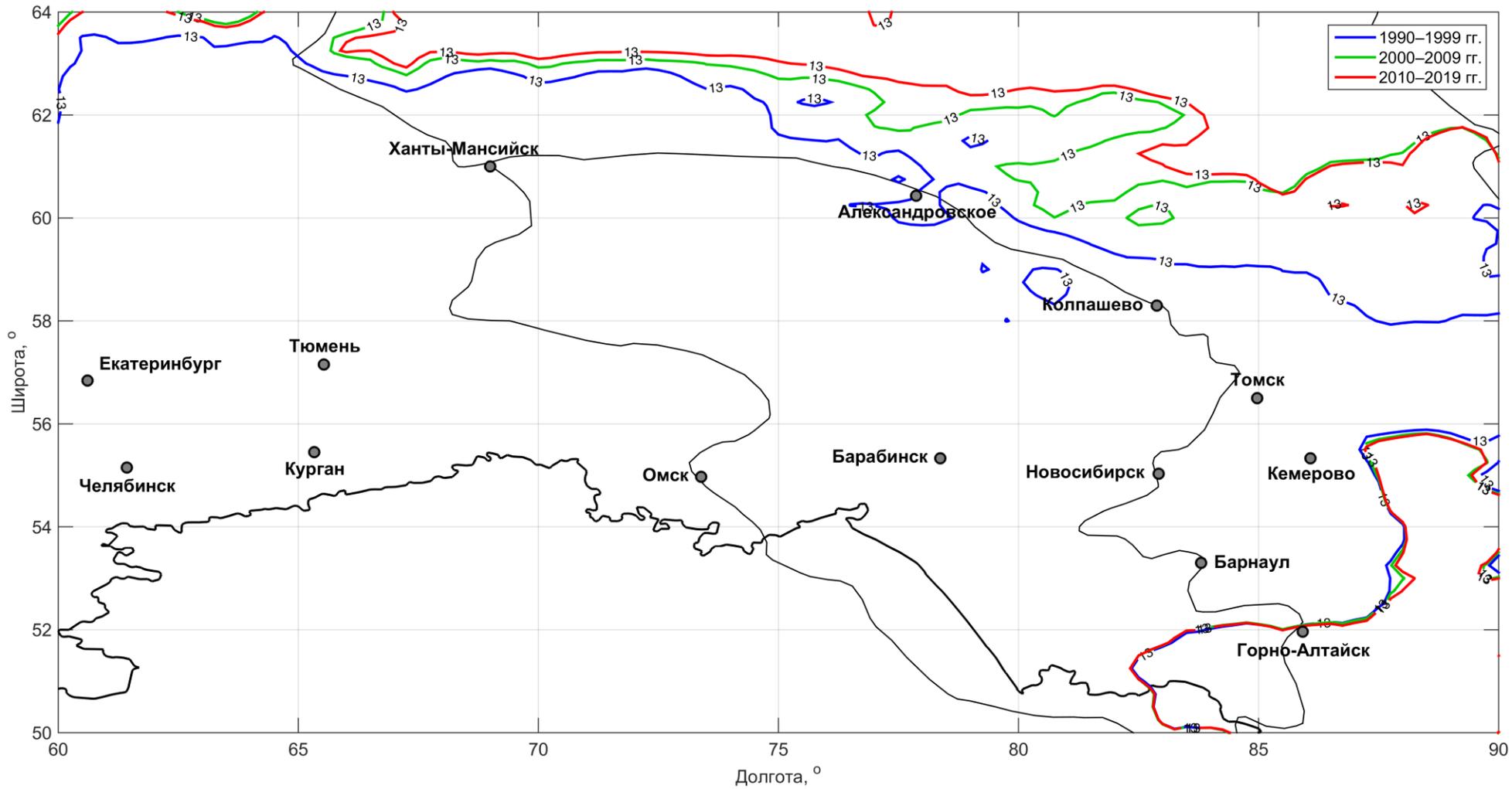
Медианные значения температуры воздуха (°C) на высоте 2 м в 09:00 UTC по данным реанализа ERA5 за летние месяцы 2010-2019 гг.



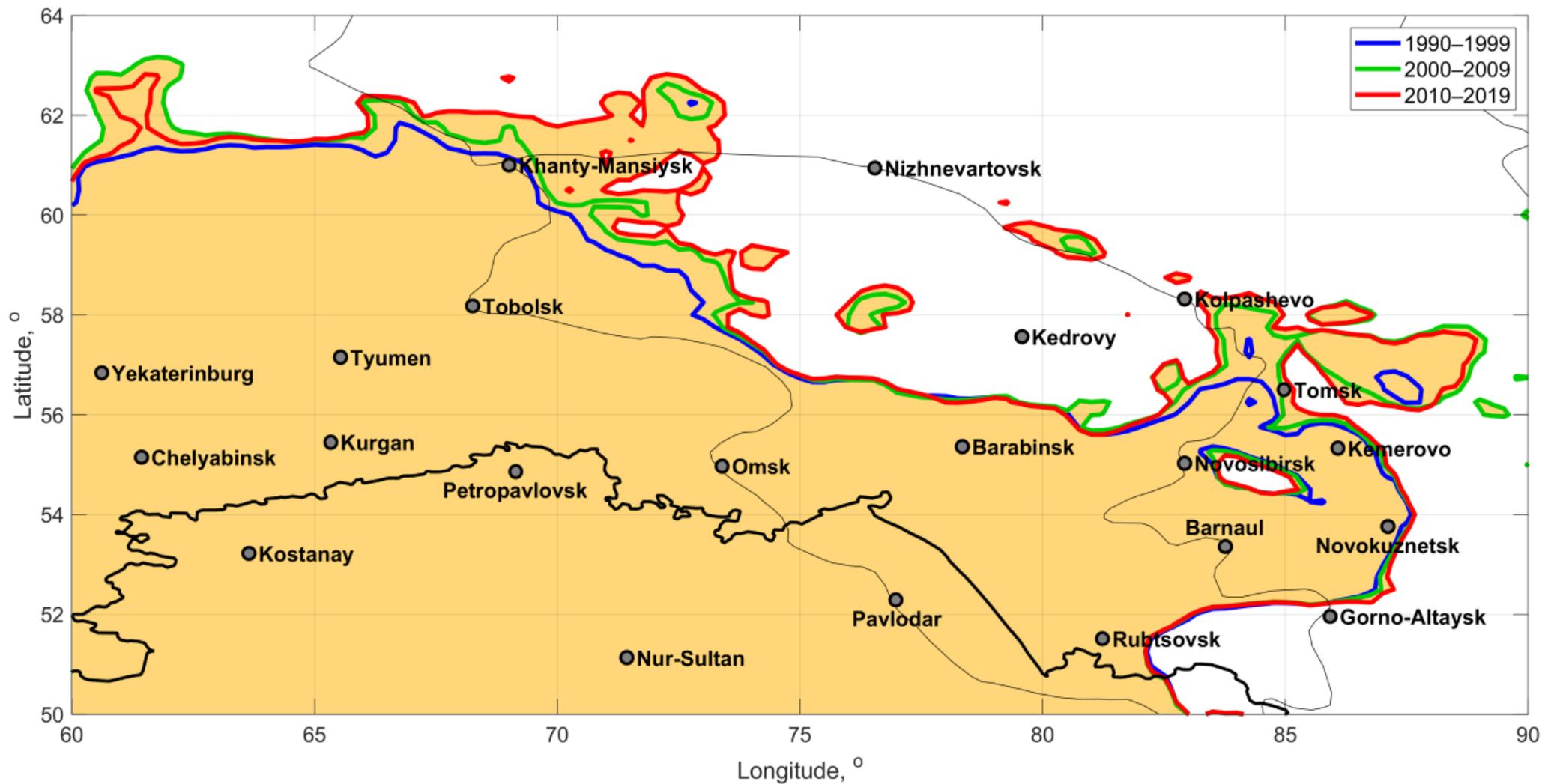
Положение изолинии 21 °С в разные десятилетия (09 час ВСВ)



Положение изолинии 14 °С в разные десятилетия (18 час ВСУ)



Положение изолинии 14 °С в разные десятилетия (за 18 час ВСВ)



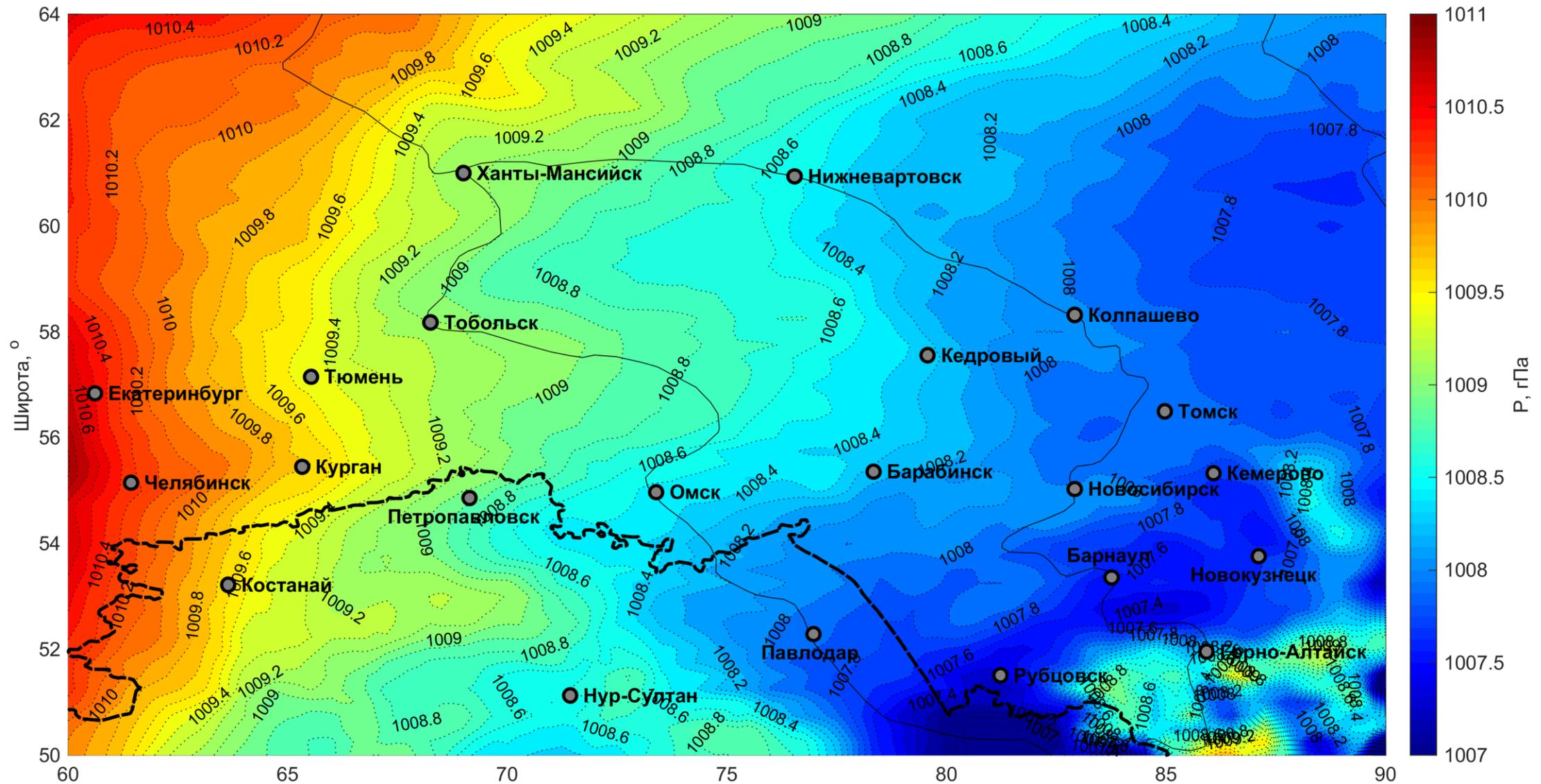
Анализ изменчивости полей температуры воздуха

- Поля средних за летние месяцы значений температуры приземных слоев атмосферы и медианных значений за период 2010-2019гг. демонстрируют наличие широтной зависимости и очагов температурных неоднородностей обусловленных орографией.
- Термические неоднородности прослеживаются и в междуречье Обь-Иртыш.
- Изолинии средних значений и дневных и ночных температур в последнее десятилетие (2010-2019гг.) расположены гораздо севернее, чем в предыдущие десятилетия.
- Положение изолинии 14 °С (массив средних значений за 18 час ВСВ) в последние два десятилетия стало четко повторять границы Большого Васюганского болота и территорию в районе Ханты-Мансийска.
- Есть основания предполагать наличие неоднородности прогрева нижних слоев атмосферы, обусловленные изменением свойств охлаждающей поверхности.

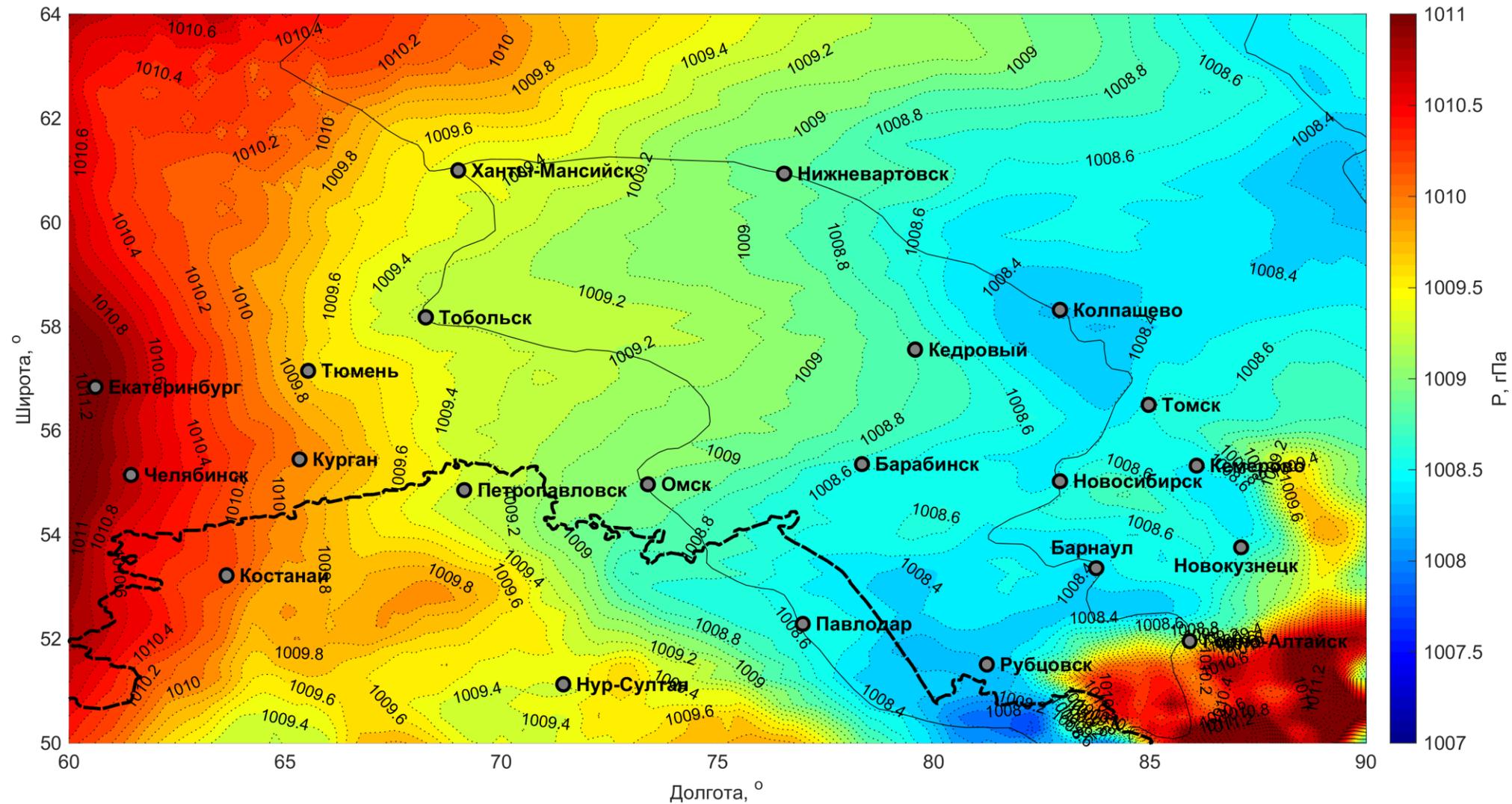
Лапласиан давления

Положительные значения лапласиана давления характерны для циклонической кривизны приземных изобар и формированию восходящих вертикальных движений, которые создают благоприятные условия для развития кучево-дождевой облачности, ливней и гроз

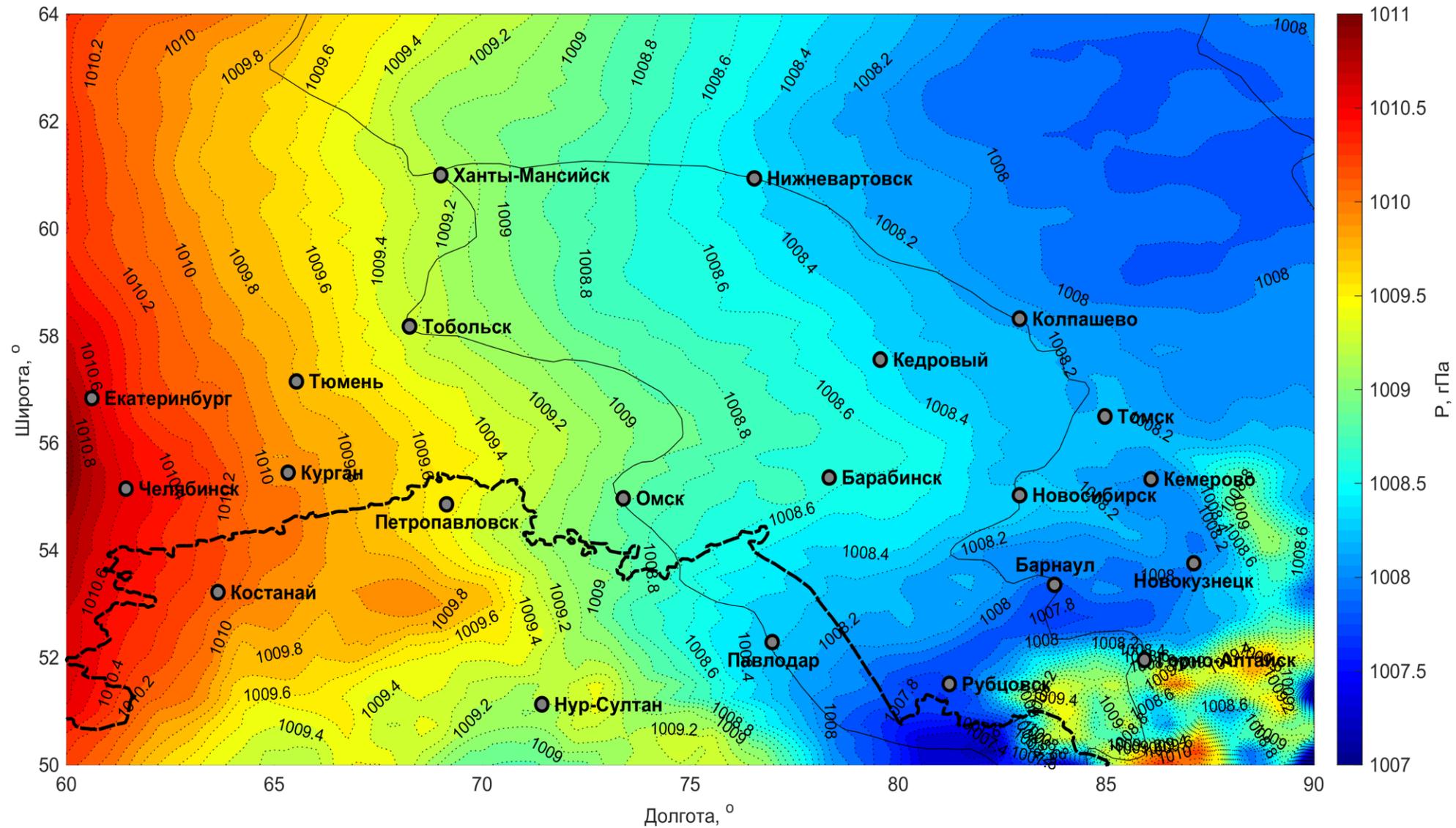
Среднее арифметическое значение давления у поверхности земли в 09 час ВСВ 1990-2019гг.



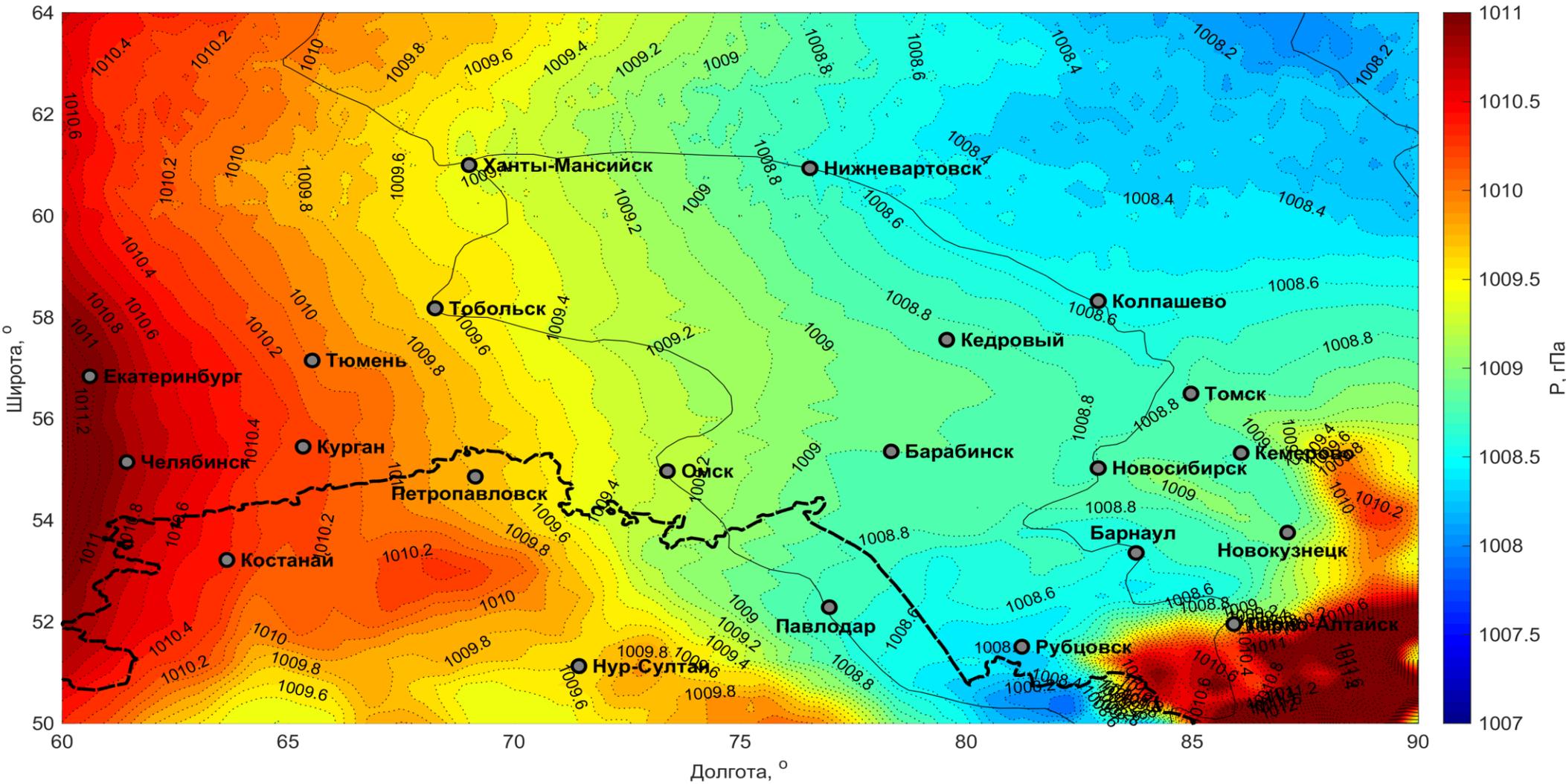
Среднее арифметическое значение давления у поверхности земли 18 час ВСВ 1990-2019гг.



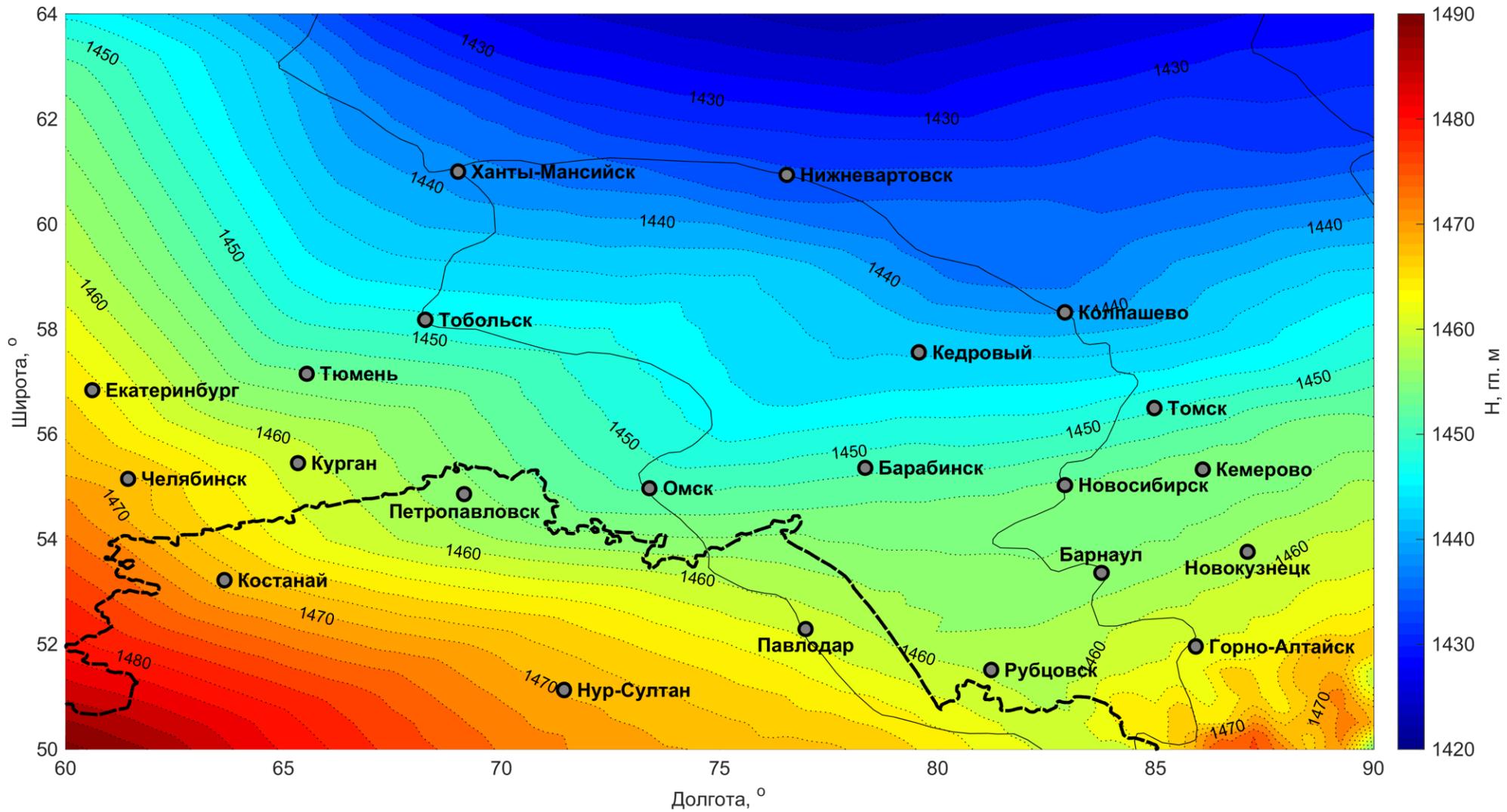
Среднее арифметическое значение давление у поверхности земли 09 час ВСВ, 2010-2019гг.



Среднее арифметическое значение давление у поверхности земли
18 час ВСВ 2010-2019гг.



Средние значения высоты 850гПа, 09 час ВСВ, 2010-2019г.



Анализ полей давления атмосферы

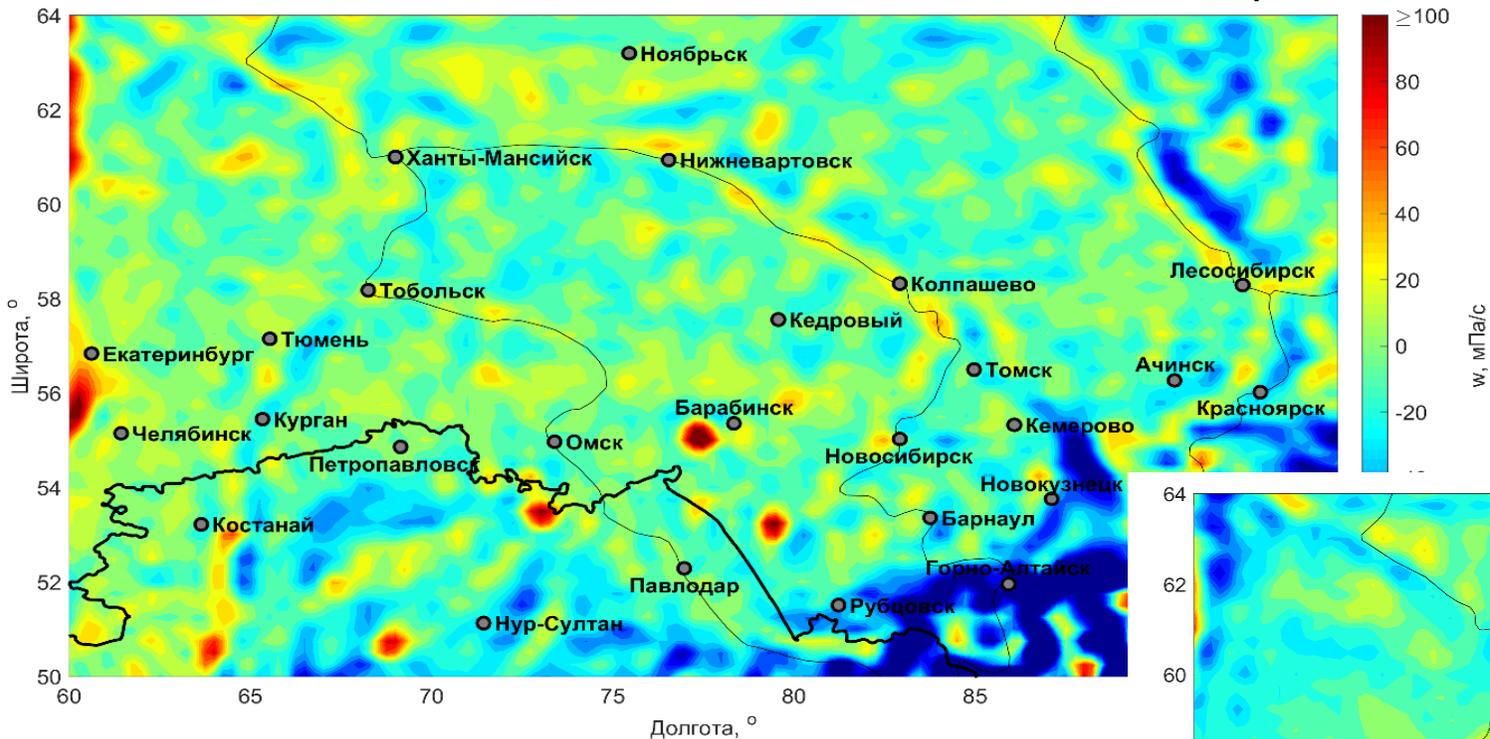
- В приземной атмосфере анализируемого района в летний период наблюдаются очень маленькие градиенты давления и квазициклоническая кривизна изобар.
- На высоте 850гПа, существует ложбина атмосферного давления с осью, ориентированной с СВ на ЮЗ. До 2000г. Такой ложбины не наблюдалось.
- В последнее десятилетие (2010-2019гг.) ложбина распространилась и на район Ханты-Мансийска.

Скорости вертикальных потоков

В исследовании были использованы данные скорости вертикальных потоков – продукт «Vertical velocity» из реанализа ERA5, полученный с сервера Copernicus Climate Change Service.

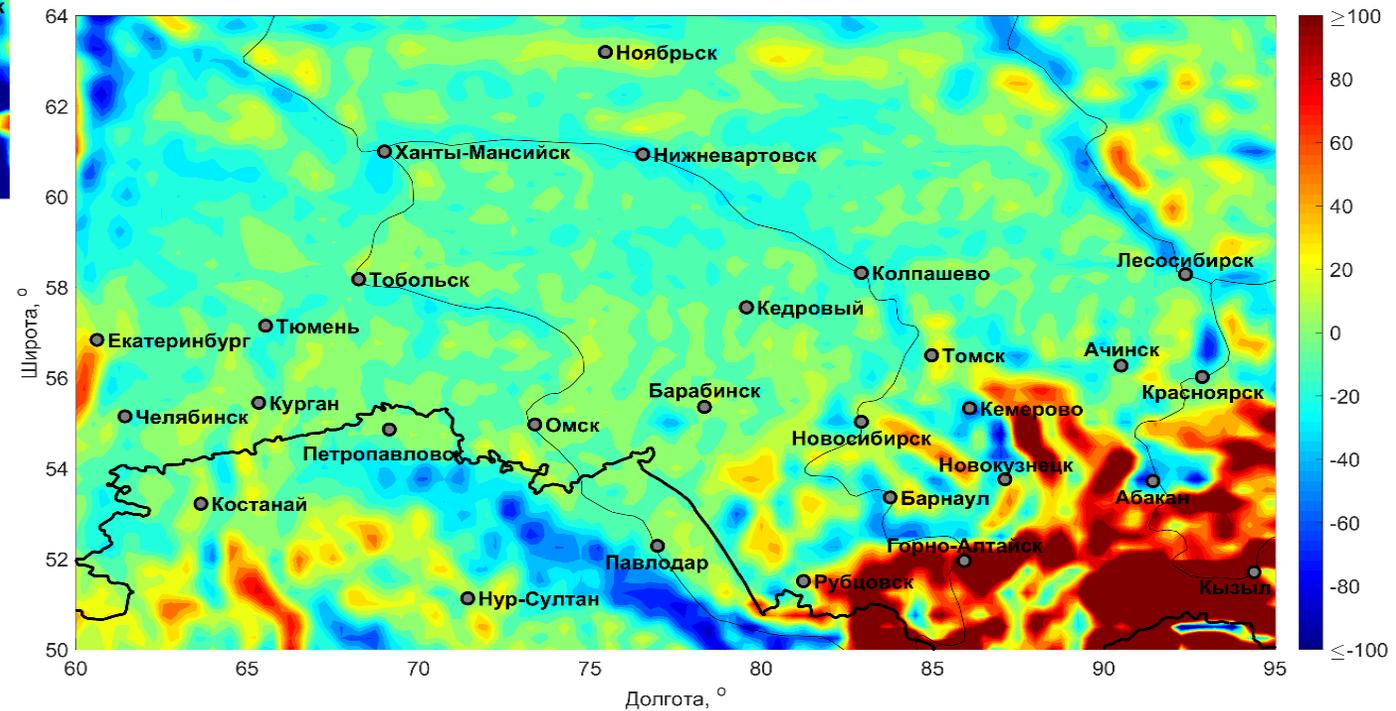
Скорость вертикальных потоков (w) в ERA5 имеет единицу измерения – Па/с. Отрицательные значения w соответствуют восходящим движениям, а положительные – нисходящим. Значения w показывают изменение давления в фиксированном объёме воздуха при его поднятии или опускании. Для удобства анализа значения w были переведены в мПа/с.

Средние значения w над югом Западной Сибири в сроки 9:00 UTC (а) и 18:00 UTC (б), за летние месяцы 1990–2019 гг.

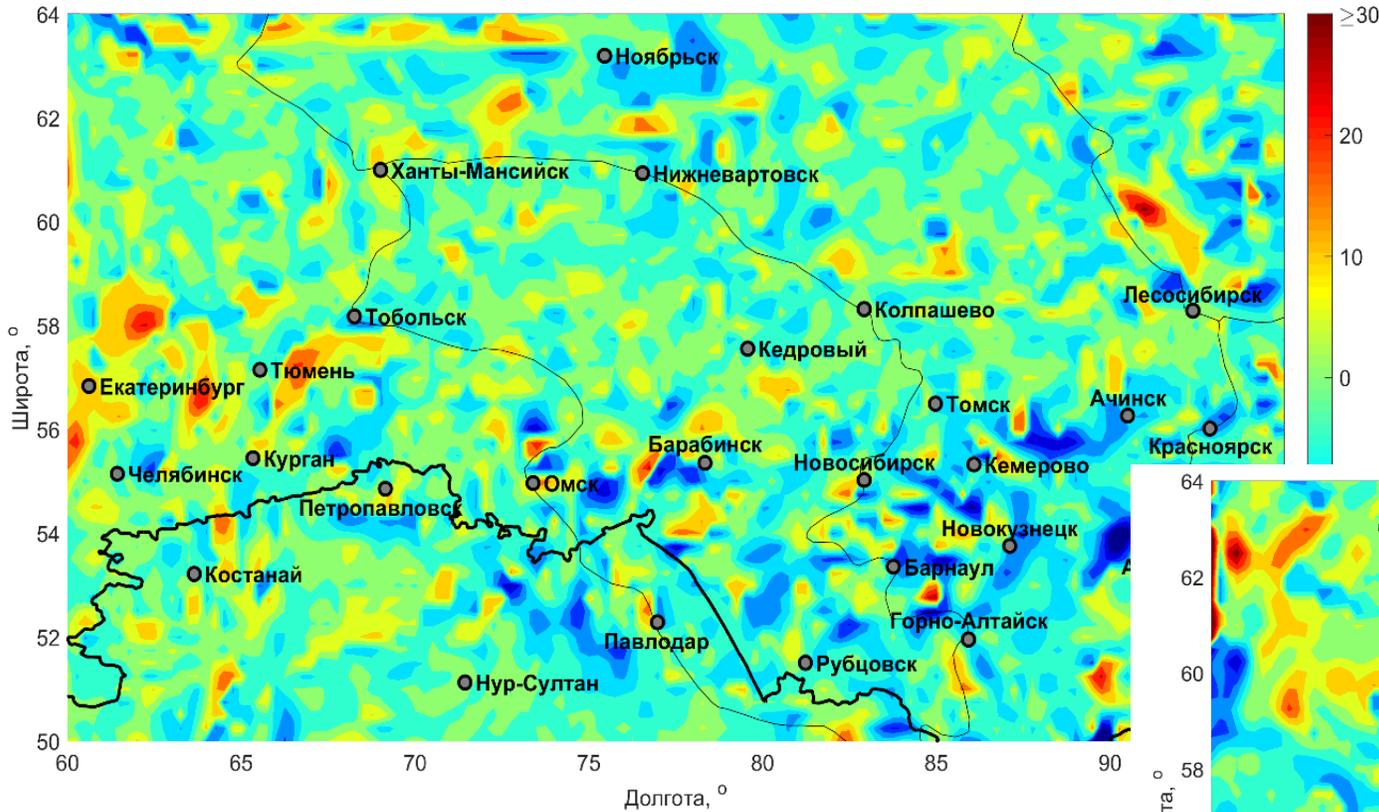


На юго-востоке территории и над БВБ в дневное время преобладают восходящие движения, а в ночное - нисходящие.

поля вертикальной скорости согласуются с состоянием подстилающей поверхности. Влияние горных хребтов (Кузнецкого Алатау) и крупных водоемов/пойм рек (например, р. Оби, оз. Чаны, оз. Кулундинское).

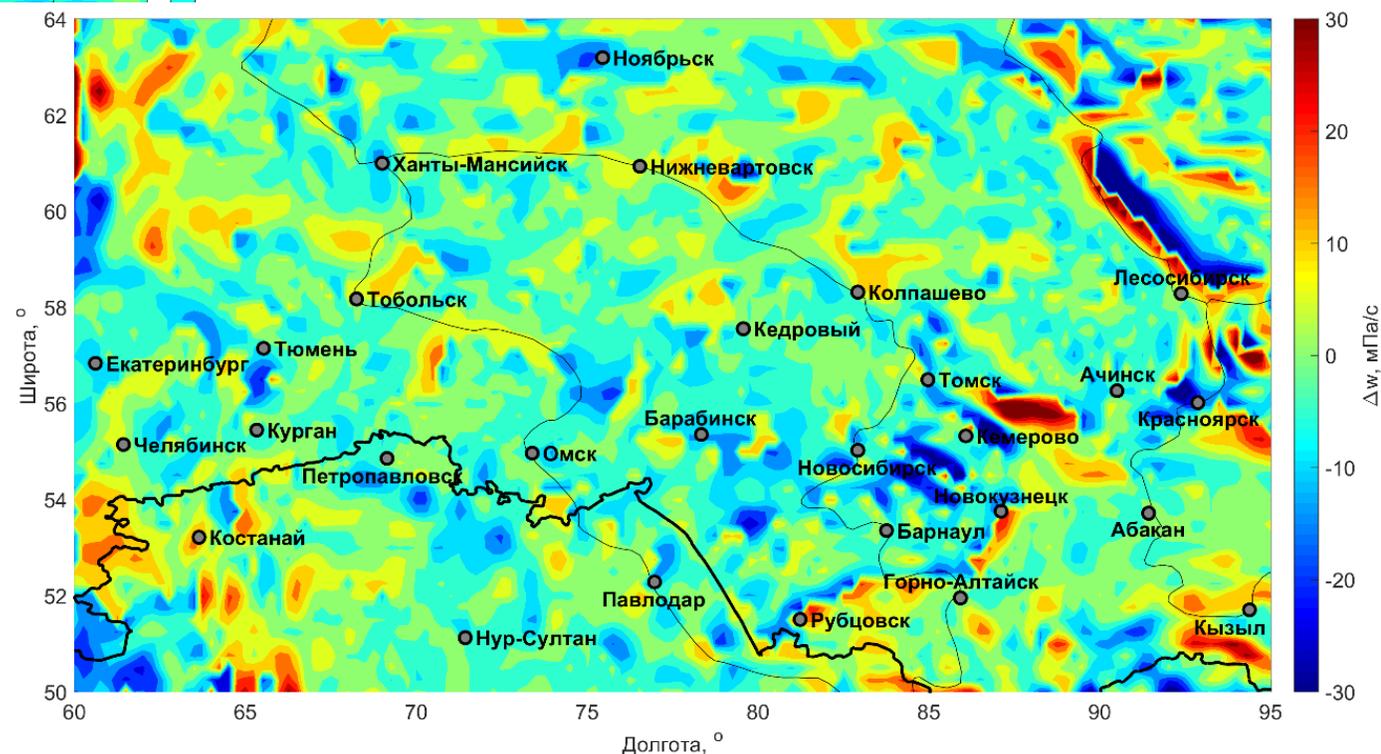


Изменение средних значений скорости мезомасштабных вертикальных потоков между периодами 2010–2019 гг. и 1990–1999 гг. в сроки 9:00 UTC

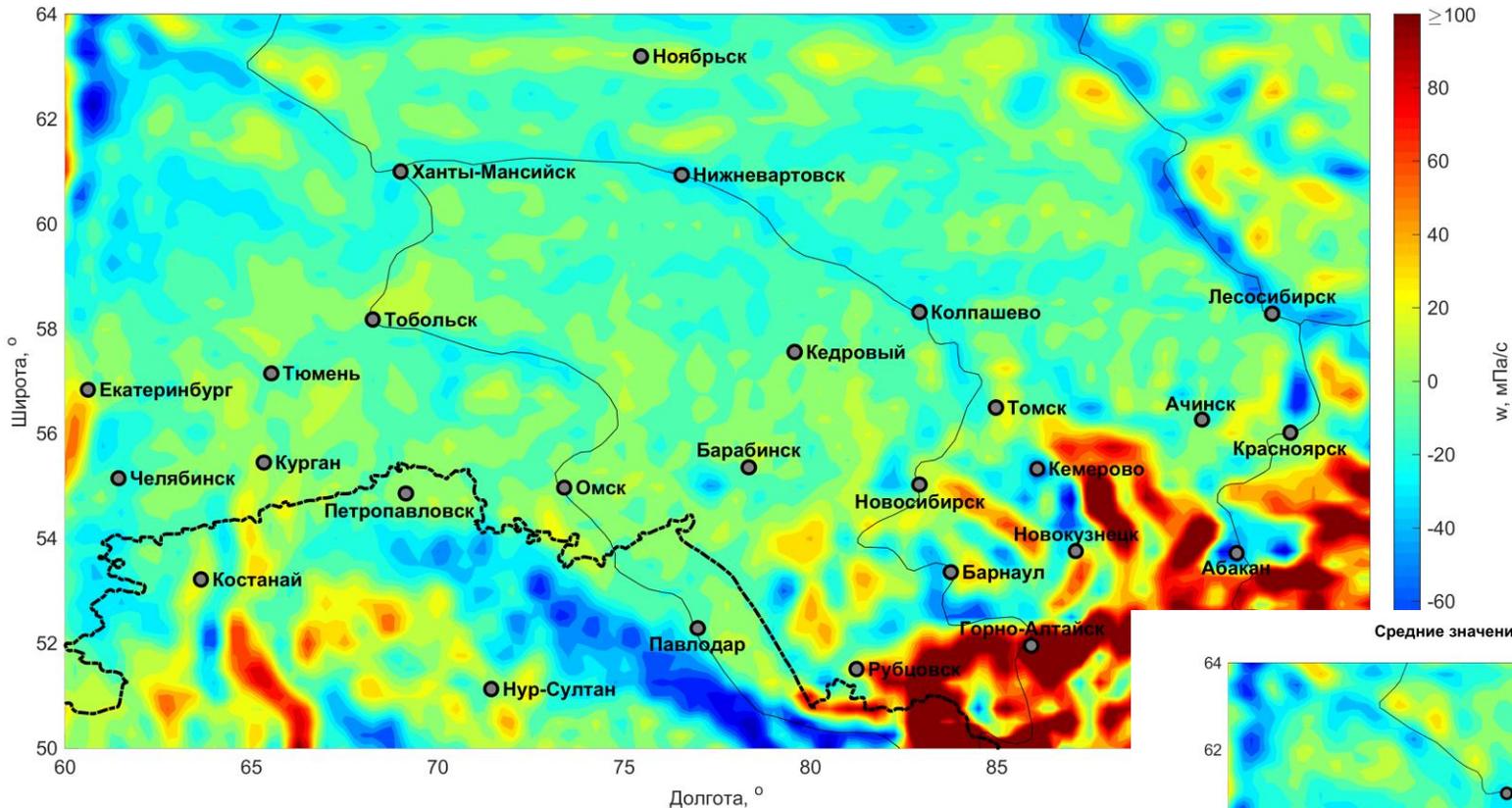


Над периферийными слабо обводнёнными частями БВБ в дневное время отмечаются преимущественно восходящие потоки, а в ночное – нисходящие.

При этом над сильно обводнёнными центральными частями БВБ, представленными топью и мочажинами, наоборот, в дневное время отмечается опускание воздуха, а в ночное – подъём.

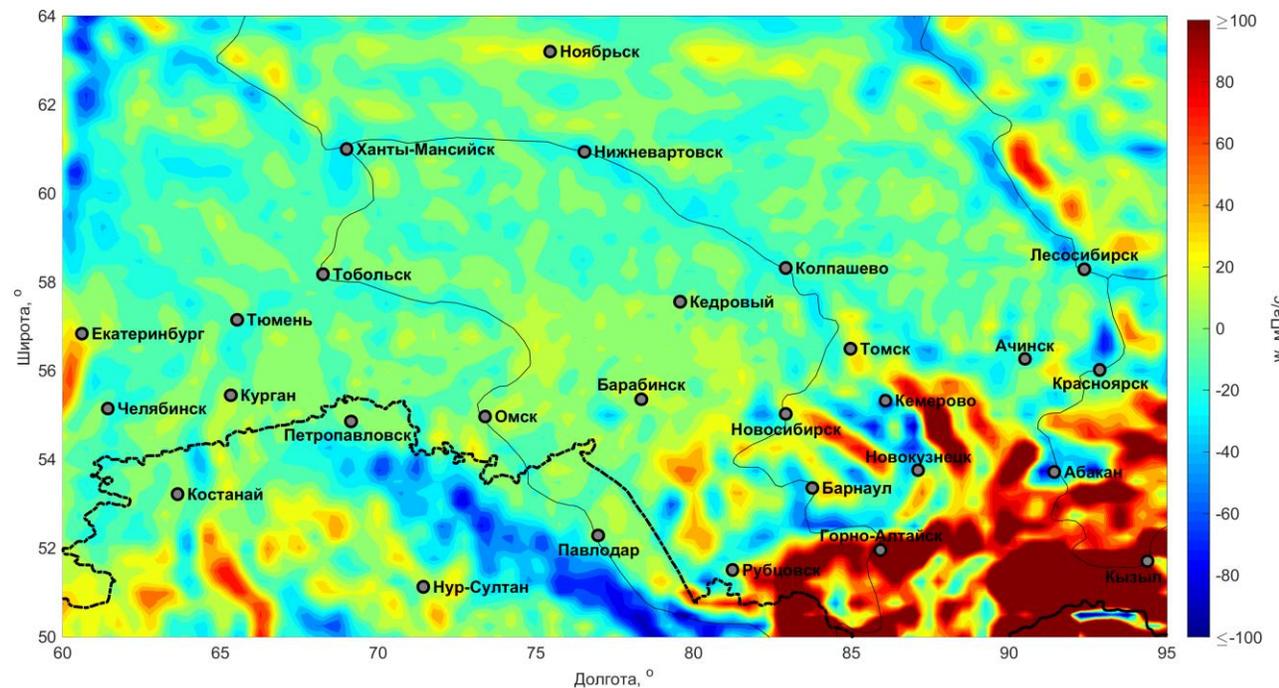


Средние значения w (мПа/с) в 18:00 UTC по данным реанализа ERA5 за июнь-август 2010-2019 гг.



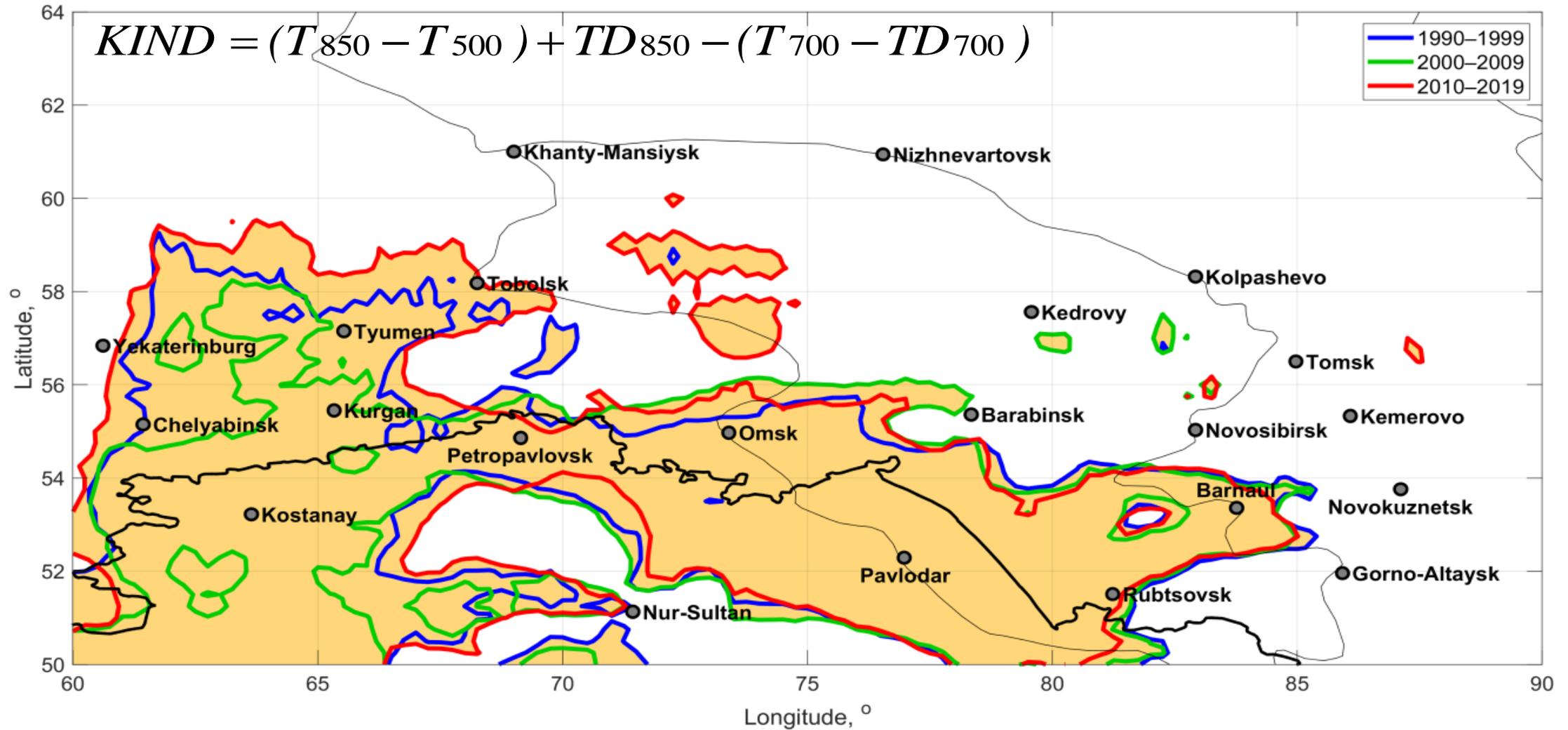
Изменение средних значений скорости мезомасштабных вертикальных потоков между периодами 2010–2019 гг. и 1990–1999 гг. в сроки 18:00 UTC

Средние значения w (мПа/с) в 18:00 UTC по данным реанализа ERA5 за июнь-август 1990-1999 гг.



Данные особенности суточного изменения w могут быть обусловлены большой теплоёмкостью крупных водных объектов (в т.ч. центральных частей БВБ) и связанной с ней инерционностью в термодинамических процессах.

Изолинии индекса неустойчивости атмосферы KIND (31 °C)



T_{850} , T_{700} , T_{500} - temperature at levels 850, 700 and 500 hPa, °C, respectively; TD_{850} , TD_{700} - dew point temperature of 850 and 700 hPa, respectively, °C.

Выводы

- В окрестностях Ханты-Мансийска и на границах БВБ в период после 2000г. сформировались очаги тепла, на градус и более превышающие средние фоновые значения температуры приземного слоя атмосферы. Причиной этого процесса вероятно является изменение тепловых свойств подстилающей поверхности. По всей видимости, эти увеличения происходят не равномерно над всей территорией по причине разнообразия структуры болотного комплекса, а фрагментарно, при этом увеличивая бароклинность атмосферы над этим районом. И даже если этот процесс не играет решающей роли в имеющихся тенденциях потепления климата Сибири, его вклад в изменение климата на региональном уровне очевиден.
- В летние месяцы над междуречьем Обь-Иртыш преобладает поле пониженного давления атмосферы. Наличие квазициклонической кривизны изобар у поверхности Земли обеспечивает усиление конвергенции горизонтальных приземных потоков, способствует подъему массы теплого и влажного воздуха.
- Наибольшее увеличение скорости восходящих движений в последние десятилетия наблюдается над территориями окрестностей БВБ и центральной частью междуречья вдоль линии водораздела. Соседство полей восходящих и нисходящих движений отчетливо просматриваются на картах пространственного распределения *w* периода 1990-1999гг. и, практически повторяет орографию. К настоящему времени влияние орографии сгладилось и если еще проявляется больше на картах за 09 час ВСВ, то в ночные часы периода 2010-2019г. полностью размытого.
- Те орографические превышения, высотой до 150 м, что определяли картину пространственной неоднородности скорости восходящих движений, перестали играть решающую роль, а на передний план вышли другие характеристики подстилающей поверхности. Увеличилась теплоемкость подстилающей поверхности, обеспечивающая вертикальные движения в ночные часы. Это является свидетельством влияния местных факторов на увеличение неустойчивости атмосферы в целом и на повторяемость условий, благоприятных для формирования опасных конвективных явлений.

Заключение

В результате проведённых исследований есть все основания утверждать, что атмосфера Западной Сибири в последнее десятилетие становится все более неустойчивой.

Об этом свидетельствует пространственная и временная изменчивость полей температуры воздуха,

- атмосферного давления,
- скорости восходящих потоков,
- Значений индексов неустойчивости атмосферы.

Причиной увеличения неустойчивости может быть изменение температурных свойств подстилающей поверхности!

Наибольшие изменения происходят в районе болотных систем, включая Большое Васюганское болото и в районе Ханты-Мансийска