Влагонасыщенность тропосферы в зимний период 2026 года в г. Томске

Н. П. Красненко[1,2], А. В. Павлинский[1]

1. Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск

2. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
E-mail: krasnenko@imces.ru, wf@inbox.ru

VI Международная конференция
«Турбулентность, динамика атмосферы и климата» 2026

Введение

Водяной пар в атмосфере является одним из основных факторов в физике многих атмосферных процессов и явлений. Он является важнейшим естественным парниковым газом в атмосфере Земли. В численных расчётах парникового эффекта и общей циркуляции атмосферы присутствие водяного пара задается в виде интегрального влагосодержания атмосферы (ВА) в столбе воздуха единичной площади и выражается в кг/м2 или в толщине слоя воды (мм). В течение многих десятилетий изучению интегрального влагосодержания атмосферы (ВА) уделялось относительно мало внимания. Но ситуация резко изменилась, когда было достоверно установлено, что именно водяной пар является основным парниковым газом. Его вклад в парниковый эффект (ПЭ) по современным данным оценивается в 50 %, вклад облачности — в 25 %, а вклад CO2 — только в 20 %. Наблюдаемое потепление должно привести к росту содержания водяного пара и ещё более усилить дальнейшие изменения климата. Концентрация водяного пара быстро убывает с высотой и выше тропосферы становится пренебрежимо малой. Изменчивость содержании водяного пара во времени требует непрерывного проведения измерений по всей поверхности земного шара. Существующие средства зондирования атмосферного влагосодержания, такие как радиометры (наземные и спутниковые), существенно облегчают задачу глобального мониторинга влагосодержания.

Измерительная аппаратура и её характеристики

В качестве средств измерения характеристик атмосферы используется комплекс приборов, включающий радиометр водяного пара (РВП), метеорологическую станцию WXT-520 и метеорологический температурный профилемер МТР-5РЕ, аттестованные как средства измерения. Измерительный комплекс установлен на высоте 20 м на крыше инженерного корпуса ИМКЭС СО РАН (г. Томск).



Рис. 1. Измерительный комплекс: радиометр водяного пара РВП (справа), метеорологический температурный профилемер МТР-5РЕ и метеостанция WXT520.

РВП предназначен для измерения радиояркостной температуры (РЯТ) излучения атмосферы на двух рабочих частотах: 20,7 ГГц и 31,4 ГГц. По результатам измерений проводится оценка параметров: интегрального влагосодержания и водосодержания, интегрального ослабления радиосигнала (оптической толщины) и «влажностной» компоненты задержки прохождения радиосигнала через тропосферу. Расчёт указанных параметров производится с помощью специализированного программного обеспечения входящего в состав комплекта оборудования РВП с привлечением данных о метеопараметрах. Имеется датчик, фиксирующий интенсивность жидких осадков.

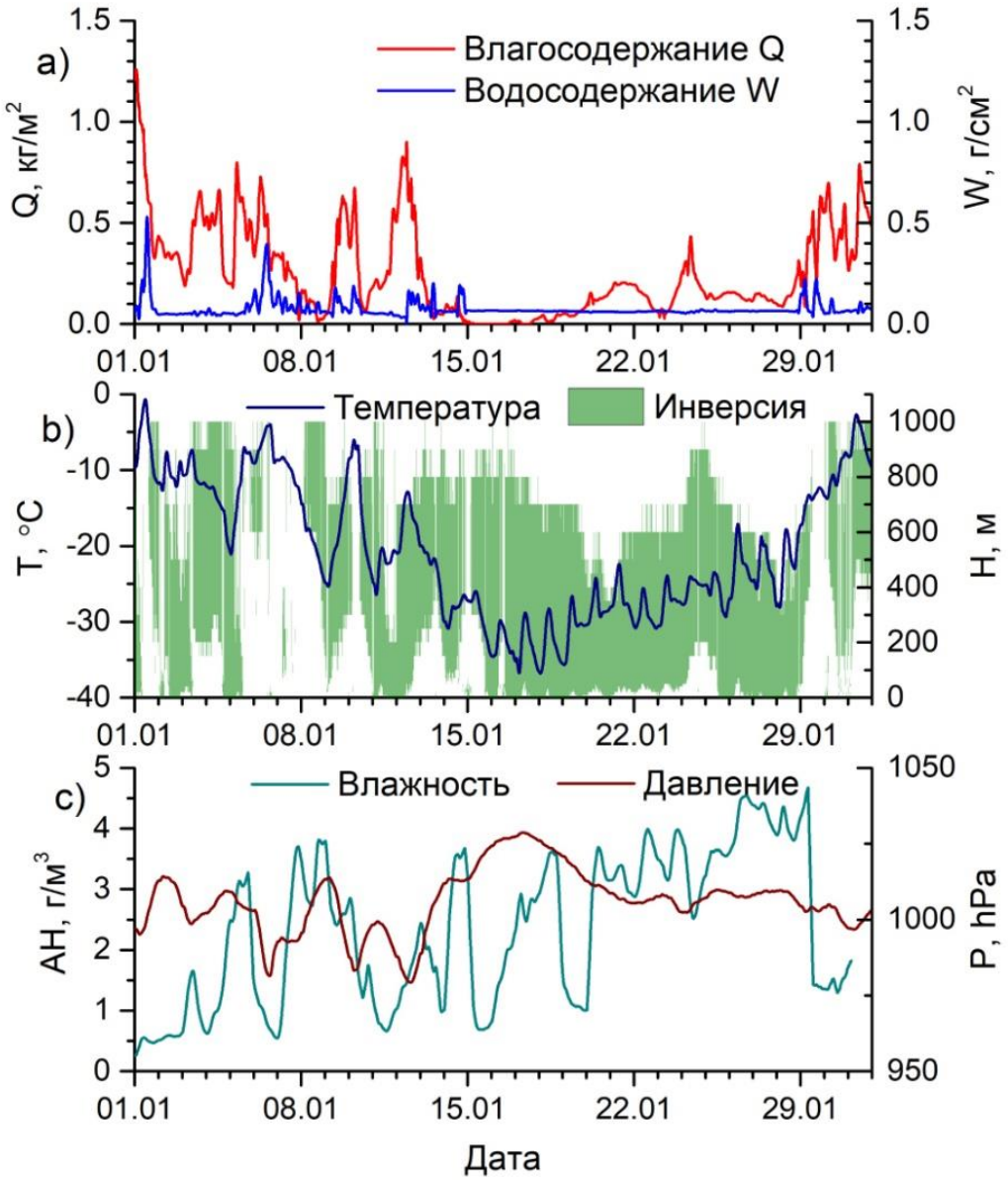
Метеорологический температурный профилемер МТР-5РЕ представляет собой пассивный сканирующий одноканальный радиометр, измеряющий собственное излучение молекулярного кислорода атмосферы на частоте 56,6 ГГц. Принимаемое излучение содержит в себе информацию о температуре атмосферы в слое до 1000 м. Измеряемая температура вычисляется путем решения обратной задачи с привязкой к приземной температуре воздуха, измеряемой контактным датчиком. Восстановление профиля температуры производится путем пошагового сканирования луча приема в вертикальной плоскости с углом места от –3 до 90 градусов. Профилемер МТР-5РЕ изготовлен в полярном исполнении (РЕ), который имеет повышенное вертикальное разрешение для исследования инверсий и расширенный рабочий диапазон температур.

Метеостанция WXT520 измеряет скорость и направление ветра, интенсивность осадков, атмосферное давление, температуру и относительную влажность воздуха. Измеритель скорости и направления ветра состоит из трех равноудаленных друг от друга ультразвуковых датчиков, расположенных в горизонтальной плоскости. Скорость и направление ветра определяются по времени прохождения ультразвукового импульса от каждого датчика к двум другим. Измеритель интенсивности осадков представляет собой пьезоэлектрический датчик, улавливающий шум от падения капель дождя или частиц града на мембрану. По сигналу датчика определяется объем и количество капель (частиц), упавших в единицу времени и рассчитывается интенсивность и накопленное количество осадков.

Основные параметры измерительного комплекса

	Параметр	Значение
РВП	Диапазон измерений интегрального влагосодержания	0,2 – 6 г/см^2
	Диапазон измерений интегрального водосодержания	0,01 – 1 кг/см^2
	Точность измерений	10 %
	Рабочий диапазон температур	–40 … +40 °C
	Рабочий диапазон относительной влажности	0 … 98 %
МТР-5РЕ	Диапазон измерений температуры	–60 … +45 °C
	Диапазон высот измерения	0 … 1000 м
	Дискретность представления в слое 0–100 метров	10 м
	Дискретность представления в слое 100–200 метров	25 м
	Дискретность представления в слое 200–1000 метров	50 м
	Предел погрешности результата измерений температуры атмосферы	1,2 °C
WXT-520	Диапазон измерений температуры	–52 … +60 °C
	Диапазон измерений влажности	0 … 100 % RH
	Диапазон измерений атмосферного давления	600 … 1100 hPa
	Диапазон измерений скорости ветра	0 ... 60 м/с
	Диапазон измерений направления ветра	0 ... 360°
	Точность измерения температуры	±0,1 °C
	Точность измерения влажности	±3 % RH
	Точность измерения атмосферного давления	±0,5 hPa
	Точность измерения скорости ветра	±3 %
	Точность измерения направления ветра	±3.0°

Результаты измерений в январе 2026 г.

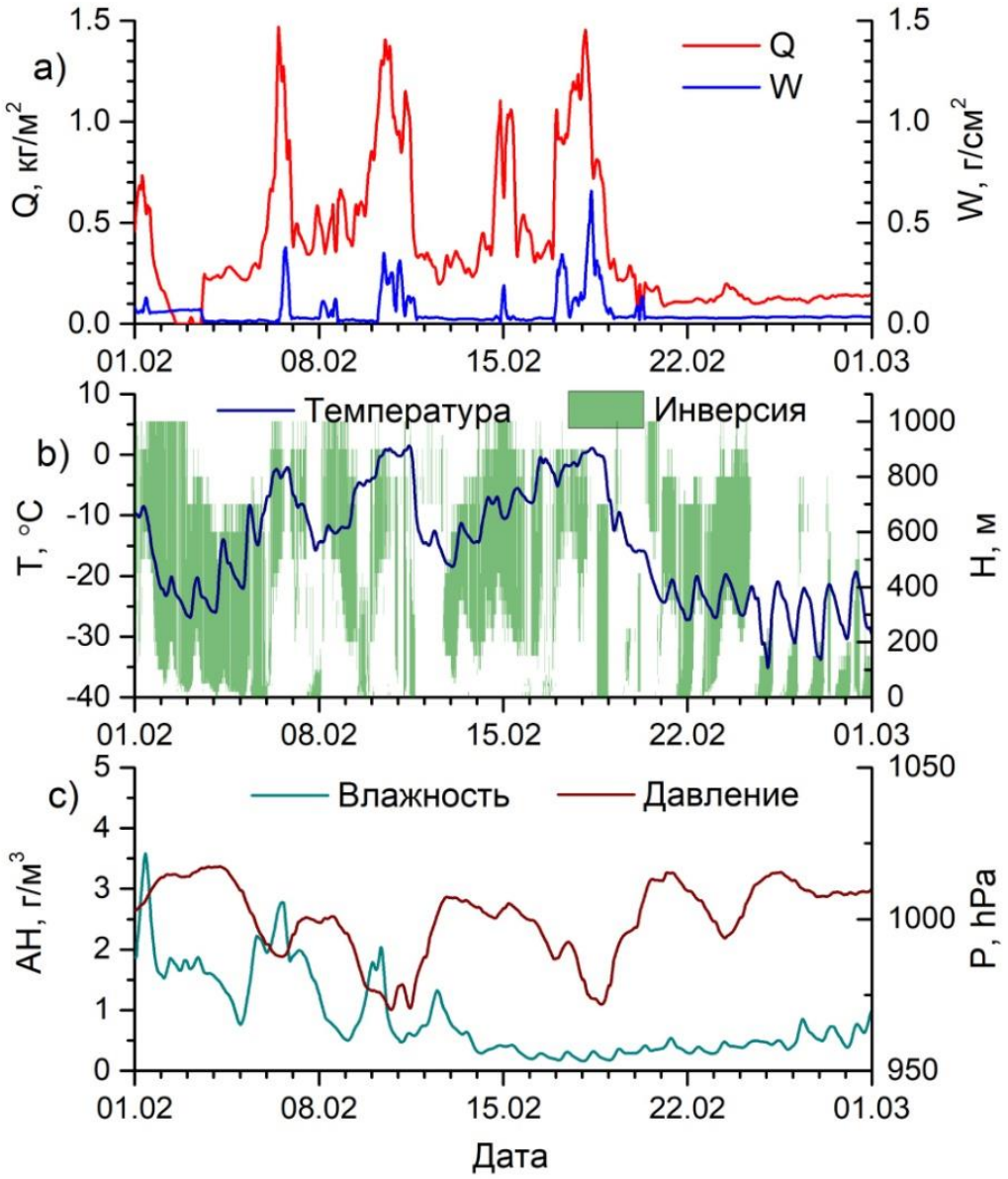


В январе 2026 года, после установления антициклона и понижения температуры до -36 градусов, зарегистрированы предельно низкие значения интегрального влаго- и водосодержания в атмосфере.

При этом величина приземной абсолютной влажности в указанный период характеризуется изменчивостью и ее колебания не коррелируют с изменениями влагосодержания атмосферы и радиояркостной температуры в каналах радиометра.

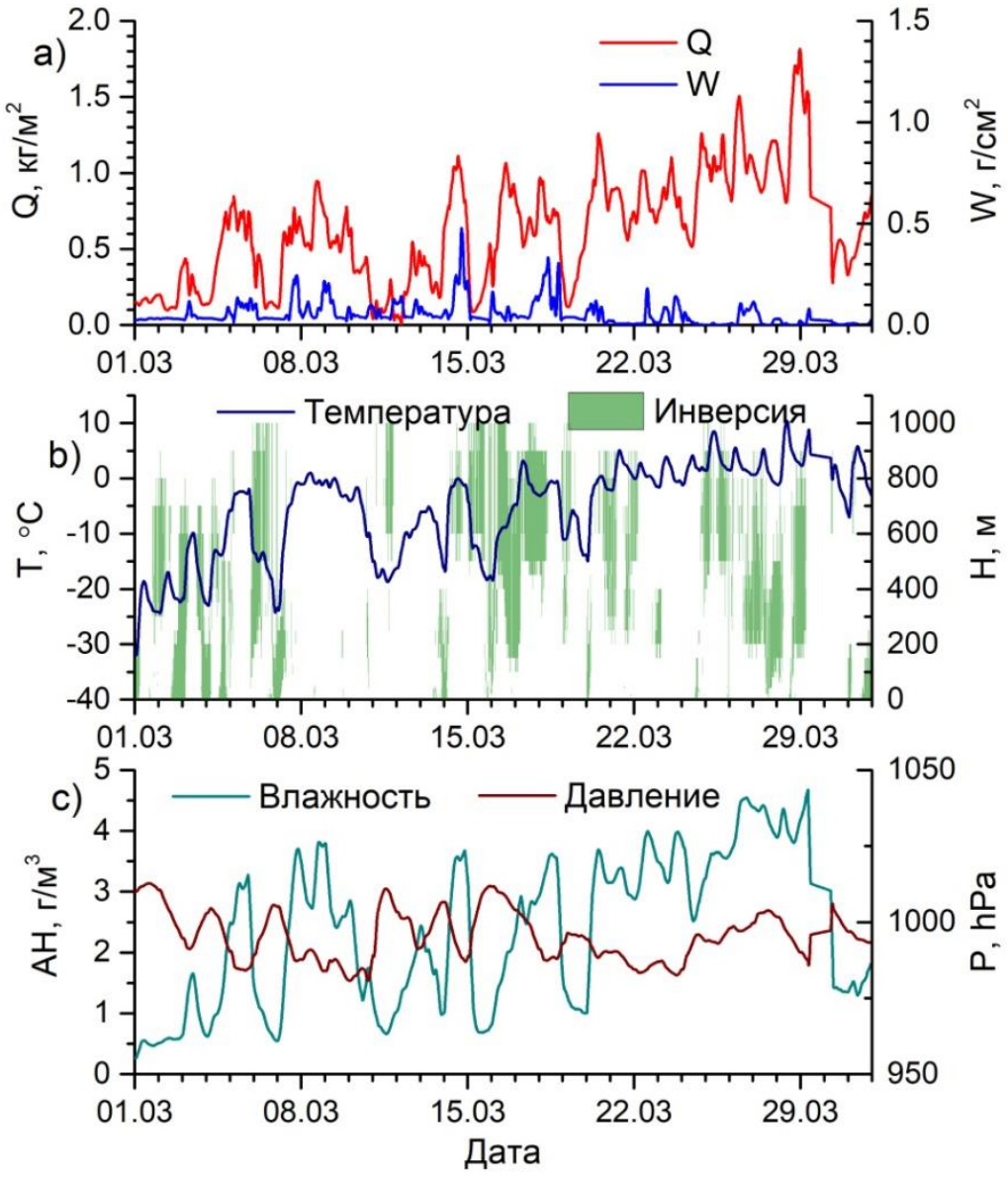
Фиксируется наличие температурных инверсий в пограничном слое атмосферы во время аномального похолодания и прихода теплых воздушных масс.

Результаты измерений в феврале 2026 г.



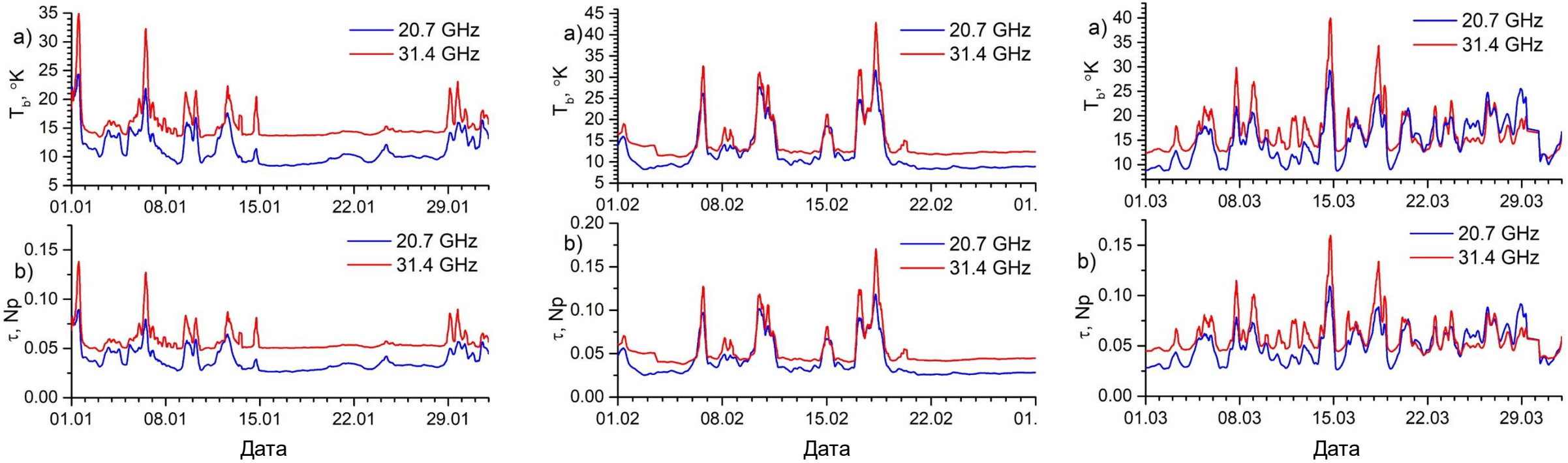
В начале февраля отмечалось потепление и осадки в виде снега, затем с 20 февраля началось похолодание до –30 градусов. В этот период также зафиксировано низкое влаго- и водосодержание атмосферы, при этом уже с 15 февраля приземная абсолютная влажность остается стабильно низкой, утрачивает корреляцию с температурой воздуха и прослеживается ее суточный ход, чего не отмечалось в холодный период января.

Результаты измерений в марте 2026 г.



После потепления в первой декаде марта показания влаго- и водосодержания возвращаются к своему обычному виду, характеризующемуся быстрой изменчивостью. Присутствуют помехи (выбросы), вызванные попаданием осадков на приёмное зеркало радиометра. Абсолютная приземная влажность показывает корреляцию с температурой воздуха, при этом ее связи с влагосодержанием атмосферы не прослеживается.

Радиояркостная температура и оптическая толщина в январе-марте 2026 г.



Tb – радиояркостная температура в приемных каналах радиометра 20.7 и 31.4 Ггц, ^{o}K .

τ – оптическая толщина по каналам, Непер

В январе приземная температура воздуха менялась в пределах от 0 °С до минус 36 °С. Это не типично для сибирской зимы прошлого периода времени и подтверждает высказывания о том, что глобальное потепление приводит к изменчивости климата (погоды). Атмосферное давление было выше нормального только с 15 по 21 января. Практически весь месяц, за исключением отдельных дней, характеризующихся всплеском температуры и большого влагосодержания, отмечалось наличие температурных инверсий, приподнятых и приземных, вплоть до высоты 1000 м. Инверсии, как известно, являются задерживающим слоем для пассивных примесей, таких как водяной пар. Влагосодержание атмосферы было высоким в начале месяца в связи с приходом теплых воздушных масс (видны приподнятые инверсии температуры) и до 15 января, а также в конце месяца, и достигало величины 1,3 кг/м^2. Всплески влагосодержания на графиках обусловлены выпадением осадков. В период высокого атмосферного давления (выше нормального) с 16 января суточные колебания температуры уменьшились, установилась устойчивая стратификация атмосферы, сформировалась приземная инверсия, её граница опустилась и в приземном слое повысилась влажность воздуха до 4,5 г/м^3. Водосодержание было в большинстве дней стабильным и держалось на минимальном уровне около 0,1 г/см^2. Отдельные всплески происходили при резком повышении температуры. С 29 января наблюдалось прохождение теплого воздушного фронта, образовалась приподнятая температурная инверсия, резко упала абсолютная влажность воздуха в приемном слое и увеличилось интегральное влагосодержание атмосферы.

Заключение

Проводимые регулярные измерения вертикального профиля температуры нижнего слоя атмосферы, интегрального влаго и водосодержания, а также зависящих от них других характеристик атмосферы, необходимы для прогнозирования загрязнения воздуха, погоды и климата, распространения радиоволн, радионавигации и других атмосферных приложений. В частности, водяной пар в атмосфере является одним из основных факторов в физике многих атмосферных процессов и явлений. Он является важнейшим естественным парниковым газом в атмосфере Земли.

Выявлены аномальные изменения радиохарактеристик атмосферы в области атмосферных фронтов в зимнее время.

Полученные результаты позволяют рассматривать ВА как климатообразующий фактор, который играет заметную роль в формировании современного глобального потепления. Можно говорить, что формирование глобального потепления обусловлено процессами крупномасштабного взаимодействия между поверхностью Земли и атмосферой. При этом фактор усиления обратной положительной связи между температурой воздуха и влагосодержанием, можно рассматривать, как не допускающий движения климатической системы в сторону похолодания.

Литература

1. *Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В. и др.* Климатология. — Л.: Гидрометеоиздат, 1989. — 568 с.
2. *Малинин В.Н.* Влагосодержание атмосферы и парниковый эффект // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2014. №3 (32). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vlagosoderzhanie-atmosfery-i-parnikovyy-effekt (дата обращения: 31.03.2026).
3. *Малинин В.Н., Гордеева С.М., Наумов Л.М.* Влагосодержание атмосферы как климатообразующий фактор. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 3. С. 243-251.
4. *Институт прикладной астрономии РАН* [Электронный ресурс]. URL: http://iaaras.ru/quasar/wvr/ (дата обращения: 31.03.2026).
5. *Зуев В.В., Павлинский А.В., Уйманова В.А. и др.* Комплекс мониторинга пограничного слоя атмосферы «Нева-М». Экологические системы и приборы. 2022. № 4. С. 38-47.
6. Vaisala Corporation [Электронный ресурс]. URL: https://www.vaisala.com/en/products/instruments-sensors-and-other-measurement-devices/weather-stations-and-sensors/WXT-520. (дата обращения: 31.03.2026).
7. *Кадыгров Е.Н., Ганьшин Е.В., Миллер Е.А., Точилкина Т.А.* Наземные микроволновые температурные профилемеры: потенциал и реальность // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 6. С. 521–528.