



Серия «Науки о Земле»
2022. Т. 39. С. 16–27
Онлайн-доступ к журналу:
<http://izvestiageo.isu.ru/ru>

ИЗВЕСТИЯ
*Иркутского
государственного
университета*

Научная статья

УДК 551.501.7

<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.39.16>

Влияние солнечной радиации на высоту радиозондирования в Арктике

А. М. Балагуров*

Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета, г. Долгопрудный, Россия

Аннотация. По результатам анализа высот зондирования в Арктике установлен эффект увеличения высоты подъема радиозонда в дневное время, связанный с нагревом радиозондовой оболочки прямой солнечной радиацией. Разность высот «день – ночь» достигает 18 км. Рассмотрена возможность использования полученных результатов исследований и испытаний «зимних» оболочек в Арктике для пополнения объема получаемых радиозондовых данных.

Ключевые слова: аэрологическая сеть, высота зондирования, температура в стратосфере, радиозондовые оболочки, объем данных.

Для цитирования: Балагуров А. М. Влияние солнечной радиации на высоту радиозондирования в Арктике // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2022. Т. 39. С. 16–27. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.39.16>

Original article

The Effect of Solar Radiation on the Height of Radiosounding in the Arctic

A. M. Balagurov*

Central Aerological Observatory of Roshydromet, Dolgoprudny, Russian Federation

Abstract. The measurement data of the radiosounding network are the basis for the analysis and forecast of weather, meteorological support of aviation and the armed forces, other forms of operational services to the population and the national economy. The Roshydromet radiosounding system does not fully meet the requirements for accuracy and the required amount of information received, especially in the Arctic region of Russia. In addition to the insufficient density of the aerological observation network in the Arctic, one of the main problems affecting the prognostic significance of a single release is the low height of the radiosonde level and, accordingly, the small volume of radiosonde data received, depending on the quality of the radiosonde balloons. Every year during the winter period in the Arctic there is a critical decrease in the radiosounding altitude associated with a decrease in temperature in the stratosphere. According to the results of the analysis of the radiosounding heights in the Arctic, the effect of increasing the height of the radiosonde in the daytime associated with heating of the radiosonde balloon by direct solar radiation was established. The difference of heights “day-night” reaches 18 km. The article considers the possibility of using the obtained results of research and testing of “winter” balloons in the Arctic to increase the volume of radiosounding data obtained.

Keywords: aerological network, sounding altitude, temperature in the stratosphere, radiosonde balloons, data volume.

© Балагуров А. М., 2022

*Полные сведения об авторе см. на последней странице статьи.
For complete information about the author, see the last page of the article.

For citation: Balagurov A. M. The Effect of Solar Radiation on the Height of Radiosonding in the Arctic. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2022, vol. 39, pp. 16-27. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.39.16> (in Russian)

Сеть радиозондирования России

Аэрологическая информация является основой анализа и прогноза погоды, метеорологического обеспечения авиации и вооруженных сил, других форм оперативного обслуживания населения и народного хозяйства. Наблюдательная сеть радиозондирования (это 114 станций на территории России) является важнейшим средством получения указанной информации. Точность, необходимый объем и своевременность поступления этих данных обуславливают высокое качество прогнозов погоды, что позволяет снизить риски угрозы жизни населения, ущерба экономике страны от опасных гидрометеорологических явлений. Согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации (ВМО) [Manual on the Global ... , 2015] допустимый интервал между аэрологическими станциями (АЭ) не должен превышать 250 км (или 1000 км в малонаселенных областях и на акваториях океанов). Каждая страна – член ВМО обязана произвести в реальном времени необходимые измерения и получить данные для международного применения, а также имеет возможность использовать информацию, полученную в других странах. На Земле около 850 АЭ обеспечивают получение и передачу один, два, а в Европе – четыре раза в сутки данных радиозондовых наблюдений в закодированной форме для глобального обмена.

К сожалению, система радиозондирования Росгидромета не в полной мере отвечает требованиям. Особенно остро стоит проблема на севере и северо-востоке России, в Арктическом регионе, в части несоответствия минимально необходимого количества аэрологических станций, степени надежности и объема получаемой информации. В настоящее время плотность аэрологической наблюдательной сети Российской Федерации недостаточна. В 1970-е гг. сеть радиозондирования на территории России включала 129 аэрологических станций [Современное состояние ... , 2021]. В настоящее время на территории Российской Федерации работает 114 станций (рис. 1), а 15 АЭ законсервированы. В список законсервированных АЭ вошли такие станции Арктического региона, как Амдерма, о. Врангеля, м. Шмидта, Анадырь и другие работавшие многие годы станции, данные радиозондирования которых были ключевыми для прогнозов погоды в Арктике.

Согласно методике расчета минимально необходимого количества пунктов аэрологических наблюдений, утвержденной Росгидрометом в 2008 г., на территории России должно действовать не менее 132 станций. Тогда как в соответствии с рекомендациями ВМО, исходя из характерных пространственно-временных масштабов атмосферных процессов, оптимальное количество аэрологических станций на территории России должно составлять 150, что является целью на долгосрочную перспективу.

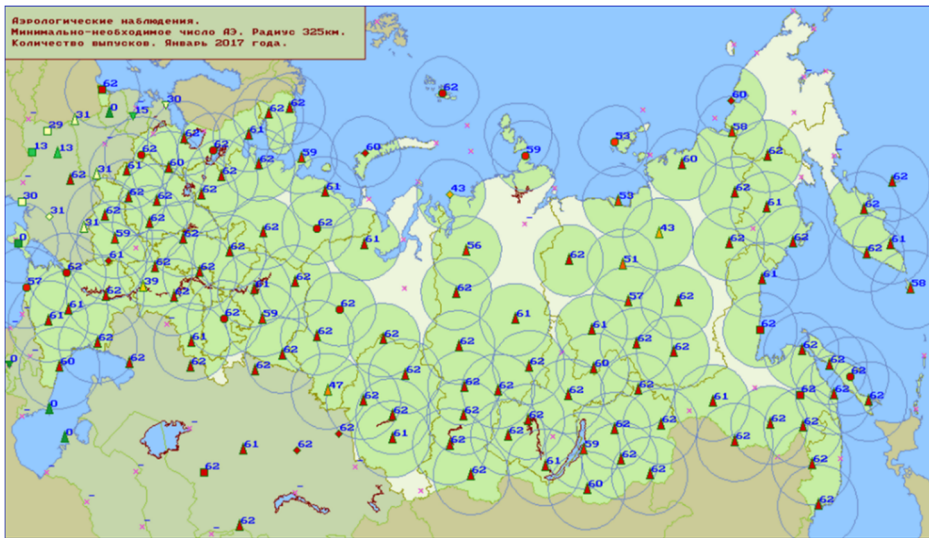


Рис. 1. Расположение аэрологических станций на территории России

Определение крупномасштабных особенностей общей циркуляции атмосферы в значительной степени зависит от данных высотного зондирования атмосферы. Большой вклад данных этих наблюдательных систем отмечен в очень многих исследованиях, хотя возможны заметные вариации их весовых функций в различных синоптических ситуациях [Алдухов, Багров, Гордин, 2002]. В Северном полушарии оценки численного прогноза погоды (ЧПП) деградируют в среднем на один день при отключении данных аэрологической сети. Если бы станции радиозондирования были распределены равномерно по поверхности Северного полушария, без белых пятен над Арктикой, Северной Атлантикой и северной частью Тихого океана, то их вклад в точность ЧПП был бы гораздо больше. До 2030 г. необходимо поэтапно восстановить все законсервированные АЭ, что, безусловно, будет способствовать улучшению пространственного разрешения аэрологической информации. Увеличение объема аэрологической информации в этом регионе будет благоприятствовать безопасному судоходству, а также активному развитию легкой авиации.

Показатели качества радиозондовых данных

Необходимость в более точной и своевременной информации продолжает стремительно расти, поскольку разнообразие потребностей пользователей расширяется. В Руководстве по климатологической практике ВМО [Guide to Climatological ... , 2018] сформулированы основные требования к наблюдениям в верхних слоях атмосферы. Точность наблюдений должна быть выше ожидаемых изменений в атмосферных условиях. Это особенно важно для наблюдений за водяным паром в верхней тропосфере и стратосфере. Также в Руководстве отмечены проблемы, касающиеся качества радиозондовых измерений. Погрешности, обусловленные солнечной радиацией, порождают не-

определенности в измерении температуры. Оперативные радиозонды не способны измерять водяной пар с достаточной точностью при низких температурах. [Nash, 2015]. Многолетний ряд данных радиозондовых наблюдений имеет многочисленные недостатки, связанные с недостаточным количеством взаимных сравнений различных радиозондов и установленных на них датчиков и различиями в типах и размещении датчиков, конструкциях радиозондов [Зайцева, 1990].

Постановлением Правительства РФ «Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений» (Постановление № 1847)¹ установлены метрологические требования к измерениям температуры и влажности при радиозондировании (табл. 1). Соответствие этим требованиям является основой для участия Российской Федерации в международном обмене аэрологическими данными [Manual on the WMO ... , 2015]. Необходимо отметить, что погрешности радиозондов, допустимые свидетельствами на тип средств измерений, выдаваемыми Росстандартом, в 2–3 раза меньше, чем предельно допустимые, установленные Постановлением № 1847. Однако фактически российские оперативные радиозонды не полностью соответствуют требованиям Постановления № 1847 по диапазону и точности измерений, имеют значительные дополнительные погрешности – радиационные, динамические. Исследователи наблюдают влияние осадков на измерения температуры и влажности, а также влияние температуры на измерения влажности и т. п. [Балагуров, 2019]. Их реальные погрешности в 2–3 раза превышают закрепленные Постановлением № 1847 предельно допустимые погрешности.

Таблица 1

Требования к диапазонам и предельно допустимым погрешностям измерения температуры и влажности при аэрологическом зондировании атмосферы

№	Измерения	Обязательные метрологические требования к измерениям	
		Диапазон измерений	Предельно допустимая погрешность
Основные измерения при осуществлении деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях			
9.21	Измерение температуры воздуха при аэрологическом зондировании атмосферы, °С	от –90 до +50	От поверхности Земли до уровня 100 гПа: $\Delta = \pm 1,25$ °С; на уровнях выше 100 гПа: $\Delta = \pm 2,5$ °С
9.22	Измерение относительной влажности воздуха при аэрологическом зондировании атмосферы, %	от 0 до 98	От поверхности Земли до уровня тропопаузы: $\Delta = \pm 15$ %

¹ Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений : постановление Правительства РФ от 16 нояб. 2020 г. № 1847 // КонсультантПлюс : справочная правовая система.

Оценка качества данных радиозондирования проводится специалистами Центральной аэрологической обсерватории (ЦАО) Росгидромета с целью обнаружения неудовлетворительно зондирующих станций. Она основана на сравнении результатов зондирования с полем первого приближения, получаемого с помощью современной численной модели прогноза погоды (ОВ – FG).

Таблица 2

Показатели качества данных аэрологических станций в 1-м квартале 2020 г.

Наименование станции	УГМС	ОВ – FG январь 2020 г., гпм	<i>H</i> , январь 2020 г., км	ОВ – FG 1-й квартал 2020 г., гпм	<i>H</i> , 1-й квар- тал 2020 г., км
Восейково	Северо-Западное	53	29,1	68	29,8
Тура	Среднесибирское	48	14,0	51	19,8
Омолон	Чукотское	50	26,6	54	26,0
Чокурдах	Якутское	61	17,2	56	18,0
Оленек	Якутское	78	19,5	57	20,7
Верхоянск	Якутское	104	23,1	83	22,8
Мирный	Якутское	51	22,2	56	23,0
Олекминск	Якутское	64	25,9	57	25,2
Среднее по РФ	Всего 114 АЭ	38	24,5	37	24,9

В соответствии с рекомендациями ВМО отклонения геопотенциальных высот изобарических поверхностей, полученных по результатам зондирования, более 48 гпм считаются критическими [Guide to Meteorological ... , 2008]. На сайте ЦАО размещаются показатели функционирования аэрологической сети Росгидромета. В январе 2020 г. насчитывалось 23 АЭ, на которых был превышен критический уровень – 48 гпм (в табл. 2 приведены примеры). При этом значительную часть «сомнительных» (т. е. поставляющих «бесполезные» данные) станций составляют северные и арктические станции России. В табл. 2 также внесены данные по средней высоте зондирования (*H*) по конкретной станции и в целом по России в январе и 1-м квартале 2020 г. Видно, что часть станций не дотягивает даже до 20 км.

Критическое снижение высот радиозондирования зимой в Арктике

Прогностическая значимость отдельного выпуска возрастает с увеличением высоты уровня окончания зондирования. На этот показатель влияют два фактора – надежность радиозондов и наземной системы и качество радиозондовых оболочек, высота разрыва которых определяет объем получаемых радиозондовых данных. В настоящее время для выпуска радиозондов в полет используются пластифицированные (готовые к использованию) радиозондовые оболочки китайского и японского производства.

Анализ результатов применения китайских оболочек на аэрологических станциях Арктического региона показал, что ежегодно начиная с ноября-декабря наблюдается снижение средней высоты зондирования. В зимний период более 90 % оболочек разрываются, не достигая высоты 25 км, которую должны обеспечивать 500-граммовые китайские оболочки (по ТЗ для аукционов закупки оболочек). По результатам анализа высот зондирования на АЭ Арктического региона было установлено, что высота зондирования в значительной степени зависит от температур в стратосфере. В качестве примера на

рис. 2 приведены графики высот радиозондирования и температур на уровне 70 гПа на АЭ Кандалакша в январе 2014 г. Видно, что высота зондирования коррелирует с температурой в стратосфере и при понижении температуры ниже -75°C становится ниже 20 км.

В декабре – феврале 2015–2016 гг. наблюдалось критическое снижение высот зондирования на ряде станций, включенных в сеть ГУАН. Аэрологические станции ГУАН [Manual on the Global ... , 2015] имеют большое значение как для синоптических, так и климатологических целей, входят в базовую сеть Глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК). При этом в документах ВМО указано, что необходимо обеспечивать высоту зондирования на станциях ГУАН не менее 5 гПа (34–36 км). Однако, например, на АЭ о. Диксон (станция ГУАН) в январе 2016 г. ни один радиозонд не поднялся на высоту 20 км, следовательно, не были получены все данные радиозондирования выше уровня 20 км. Средняя высота зондирования на станции о. Тикси (ГУАН) в январе 2017 г. составила 18,5 км.

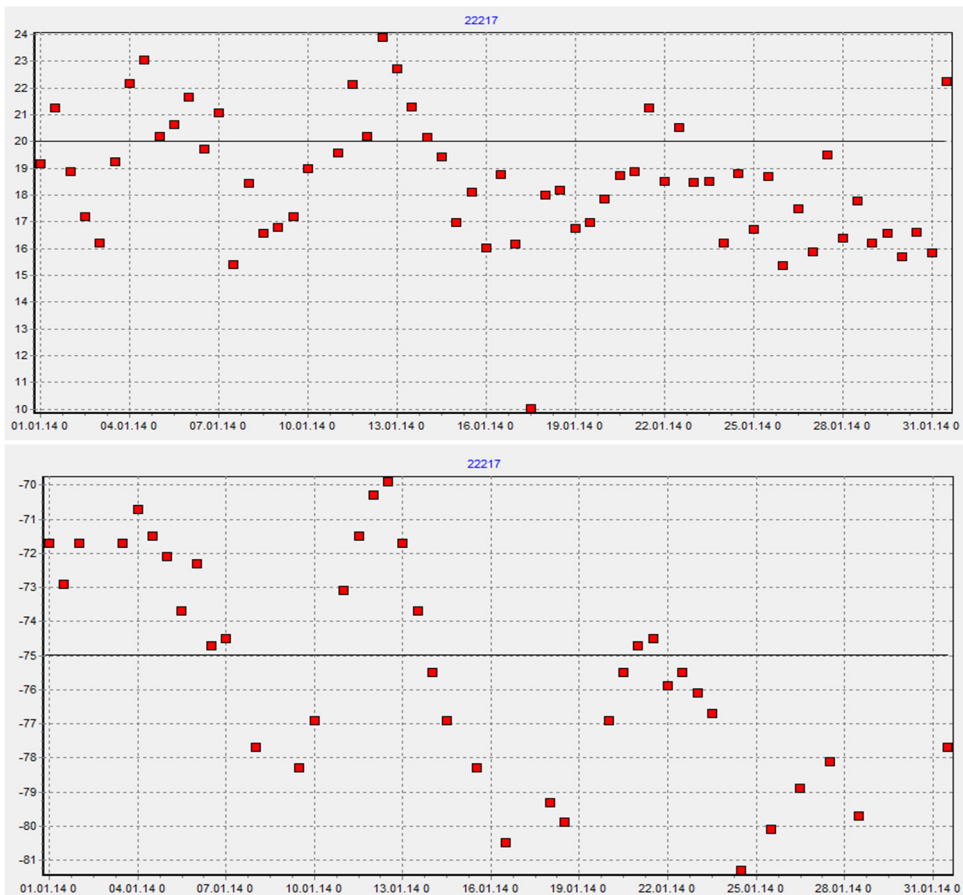


Рис. 2. Высота зондирования (км) и температура ($^{\circ}\text{C}$) на уровне 70 гПа на АЭ Кандалакша (с 1 по 31 января 2014 г.)

В зимнее время в стратосфере Арктики формируется стратосферный полярный вихрь и происходит существенное понижение температур. Например, 01.02.2018 выпущенный на АЭ Архангельск в 12:00 по всемирному согласованному времени (ВСВ) радиозонд зафиксировал на высоте 22 км температуру $-96,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Этот показатель был самым низким за 40-летний период. Причина таких минимальных температур в нижней стратосфере над Арктическим регионом объясняется радиационными условиями – охлаждением воздуха в период полярной ночи.

В Методическом письме ЦАО «О работе аэрологической сети РФ в 2014 г.», в разделе «О радиозондовых оболочках TOTEX», было отмечено, что оболочки производства TOTEX Corporation (Япония) TX350 и TX500 имеют специальный состав латекса, предназначенный для использования в условиях низких температур (ниже $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ в районе тропопаузы), что обеспечивает их преимущество перед китайскими оболочками, особенно в зимних условиях Арктического региона РФ. По результатам испытаний в ЦАО в 2014–2015 гг. был сделан вывод о том, что оболочки TOTEX по своим техническим характеристикам в части высоты зондирования и скорости подъема удовлетворяют предъявляемым требованиям, обеспечивают стабильные высоты и могут быть применены для оперативного радиозондирования.

В ходе анализа влияния низких температур в стратосфере на высоту радиозондирования были получены также данные для финской аэрологической станции Соданкюля, расположенной в Арктическом регионе, на которой используются японские оболочки TOTEX TX500 (рис. 3). Даже при понижении температур в стратосфере ниже $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ высота зондирования хотя и снижается, но остается в основном на уровне 20–25 км.

По решению совместной коллегии Комитета Союзного государства по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения окружающей среды в период с декабря 2016 г. по март 2017 г. на аэрологической сети Росгидромета проведены эксплуатационные испытания оболочек TOTEX. По результатам эксплуатационных испытаний в зимний период 2016–2017 гг. радиозондовые оболочки TOTEX (500-граммовые TX500 и 350-граммовые TX350) продемонстрировали свое превосходство над 500-граммовыми китайскими оболочками.

Поскольку достигаемые высоты существенно зависят от стратификации температуры и расположения аэрологической станции, при сравнительном анализе результатов применения радиозондовых оболочек TOTEX и китайских оболочек № 500 в расчеты были включены данные только за те месяцы, в которые на конкретной АЭ производились выпуски обоих типов оболочек (не менее четырех выпусков каждого типа). При этом в расчеты высот включались только результаты выпусков, в которых причина прекращения зондирования зафиксирована как «лопнула оболочка». То есть выпуски, в которых достигнутая высота ограничивалась отказом радиозонда или наземного обслуживания, исключались из анализа. По результатам сравнительного анализа применения радиозондовых оболочек TOTEX (TX500 и TX350) и китайских 500-граммовых оболочек в период с декабря 2016 г. по март 2017 г. на АЭ Росгидромета в акте испытаний отмечено, что желательно обеспечить закупку

оболочек ТХ500 на зимний период для использования на 12 арктических станциях, расположенных вблизи и выше Северного полярного круга, в рамках централизованной закупки расходных материалов для радиозондирования. Использование оболочек ТОТЕХ целесообразно проводить при понижении температуры в стратосфере ниже -75°C .

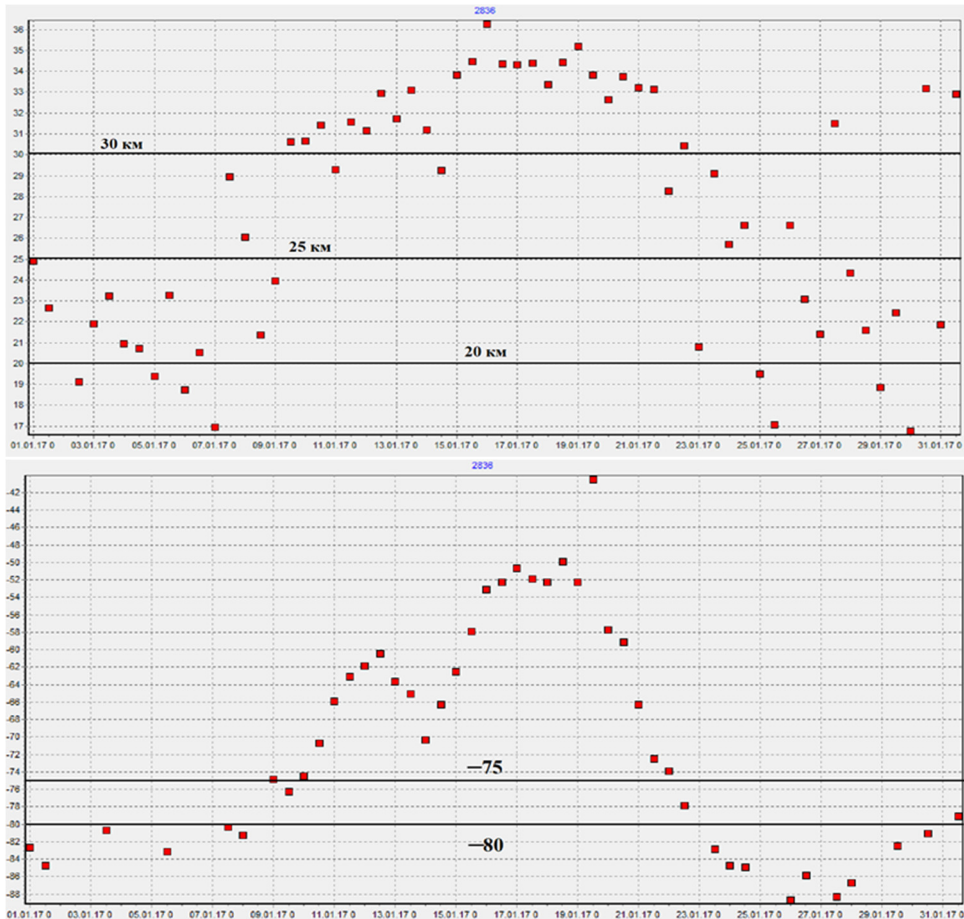


Рис. 3. Высота зондирования (км) и температура ($^{\circ}\text{C}$) на уровне 30 гПа на АЭ Соданкюля в январе 2017 г.

Перспективы обеспечения высотными данными Арктического региона

В ходе исследования высот радиозондирования в Арктике был обнаружен эффект влияния солнечного излучения при низких температурах в стратосфере на высоту разрыва оболочки. На рис. 4 приведены графики высот радиозондирования и температур (на уровне 30 гПа) на АЭ Кандалакша в марте 2021 г. Видно, что при понижении температуры ниже -70°C ночные высоты становятся ниже 25 км (выпуск зонда в 3:00 по местному времени). В то же время дневные высоты остаются на уровне 30 км и выше.

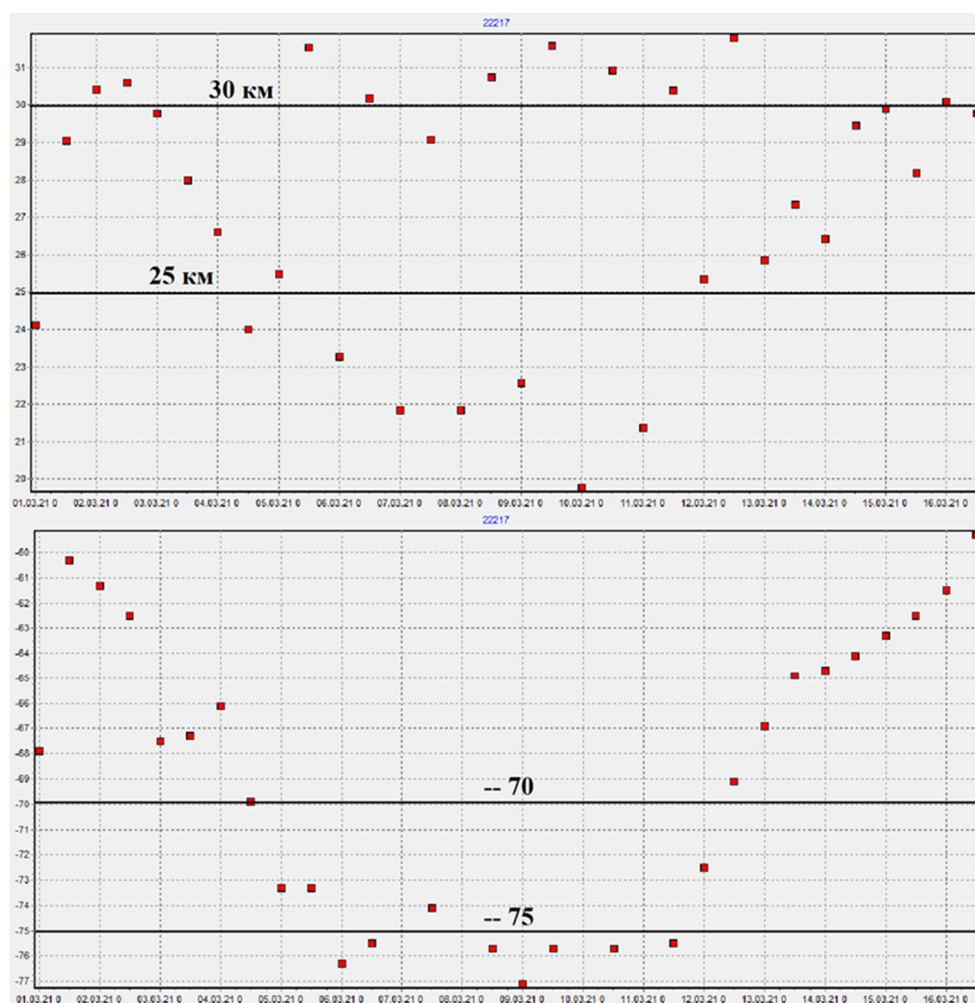


Рис. 4. Высота зондирования (км) и температура (°C) на уровне 30 гПа на АЭ Кандалакша 01–16 марта 2021 г.

Время появления данного эффекта в течение года зависит от долготы аэрологической станции. В подтверждение этого наблюдения были проведены исследования в восточном Арктическом регионе России, результаты которого сравнивались с данными, полученными для западного региона (АЭ Кандалакша). Анализ высот зондирования и температур на АЭ Омолон в феврале 2020 г. позволил обнаружить аналогичный эффект. Но при понижении температуры ниже -70°C высота выпусков уже в 12:00 ВСВ становится ниже 20 км, а высоты в 00:00 ВСВ остаются на уровне 30 км. Время выпуска радиозонда в 12:00 ВСВ соответствует 00:00 местного времени. Разность высот «день – ночь» достигает 15 км.

Исследования были проведены также для зарубежных станций Арктического региона, использующих оболочки TOTEX. Было определено, что существенное расхождение высот между дневными и ночными выпусками также проявляется, но при понижении температур в стратосфере ниже -80°C . На рис. 5 показаны высоты для аэрологической станции Inuvik (BCB – 6) на северо-западе Канады в марте 2020 г. Разность высот «день – ночь» достигает 18 км. Аналогичные результаты получены на аэрологических станциях, расположенных в районе Южного полярного круга, в Антарктиде, в период август – сентябрь.

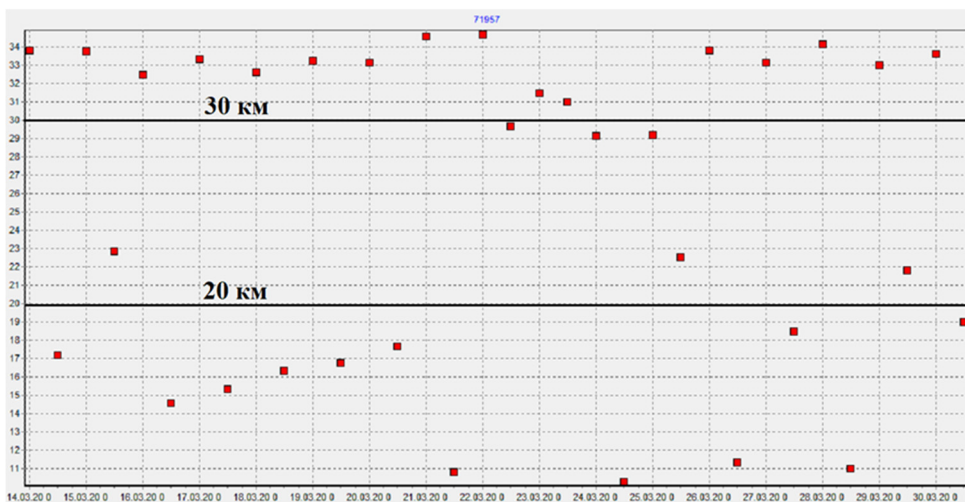


Рис. 5. Высота зондирования (км) на АЭ Inuvik 14–31 марта 2020 г.

Данный эффект обусловлен нагревом радиозондовой оболочки прямой солнечной радиацией, которая растет с высотой. Предполагается, что эффект увеличения высоты радиозондирования может быть повышен при окрашивании оболочки в темный цвет. При этом эффект повышенного нагрева оболочки при достижении радиозондом высоты появления солнца из-за горизонта будет приводить к увеличению растяжимости материала оболочки и, соответственно, увеличению высоты разрыва оболочки.

В 2019–2020 гг. оболочки TOTEX на аэрологической сети Росгидромета практически не использовались по причине более высокой цены по сравнению с ценами на китайские оболочки. При этом необходимо отметить, что в зимний период 2019–2020 гг. ситуация с критически низкими высотами на сети радиозондирования Росгидромета в Арктике сохранилась. Фиксировалось резкое увеличение количества аэрологических станций со средней высотой зондирования ниже 22 км – с трех в октябре 2019 г. до 43 в декабре 2019 г. То есть при понижении температуры в зимний период высота разрыва оболочек существенно снижалась. При этом за 1-й квартал 2020 г. 21 аэрологическая станция не достигла средней высоты зондирования 22 км. В это число входят арктические станции, расположенные выше Северного полярного круга, такие

как Шойна, Нарьян-Мар, Малые Кармакулы, им. Э. Г. Кренкеля, Диксон, Норильск, им. Е. К. Федорова, Оленек, Тикси, о. Котельный, Верхоянск, Чокурдах, Черский, о. Айон. На 10 из перечисленных станциях средняя высота зондирования в январе 2020 г. была меньше 20 км.

При анализе эффективности использования радиозондовых оболочек необходимо учитывать полные эксплуатационные расходы пользователя (на повторные выпуски при раннем разрыве оболочки, отбраковку и замену оболочек на качественные при проверке перед выпуском. Существенное снижение высот зондирования обуславливает неполучение аэрологических данных, что может приводить к снижению оправдываемости прогнозов погоды и нарушению одного из основных принципов деятельности гидрометеорологической службы – соответствия задачам охраны здоровья населения, защиты окружающей среды и обеспечения экологической и гидрометеорологической безопасности.

В марте 2021 г., когда на нескольких аэрологических станциях Росгидромета было установлено понижение температуры в стратосфере ниже $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$, состоялись предварительные испытания оболочек TOTEX (ТХ500 и ТХ350), изготовленных по специальной технологии, разработанной с учетом эксплуатационных испытаний в зимний период на аэрологической сети Росгидромета. Результаты этих испытаний подтвердили, что оболочки TOTEX удовлетворяют требованиям оперативного радиозондирования и имеют преимущества использования в зимних условиях по сравнению с китайскими оболочками № 500. Средняя высота подъема оболочек ТХ500 составила 31 165 м, в то время как китайских – 25 285 м (разница – 5880 м). Средняя высота подъема оболочек ТХ350 – 30 989 м. Однако следует заметить, что число выпусков было недостаточно для подготовки объективных выводов. Необходимо проведение дополнительных эксплуатационных испытаний оболочек TOTEX, изготовленных по специальной технологии, на АЭ Арктического региона в зимний период (декабрь – февраль), в периоды понижения температуры в стратосфере ниже $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Результаты анализа и эксплуатационных испытаний оболочек TOTEX, а также исследований эффекта увеличения высоты подъема радиозонда в дневное время, связанного с нагревом радиозондовой оболочки прямой солнечной радиацией, должны быть весьма важными для работы аэрологических станций Росгидромета с точки зрения решения проблемы потери высотных аэрологических данных на государственной наблюдательной сети зондирования атмосферы в зимний период в Арктическом регионе Российской Федерации.

Список литературы

Алдухов О. А., Багров А. Н., Гордин В. А. Статистические характеристики прогностических метеорологических полей и их использование для объективного анализа // Метеорология и гидрология. 2002. № 10. С. 18–33.

Балагуров А. М. Единство аэрологических измерений // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России : материалы II Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2019. С. 679–692.

Зайцева Н. А. Аэрология. Л. : Гидрометеоздат, 1990. 325 с.

Современное состояние и перспективы развития радиозондирования в России / Н. А. Зайцева, А. М. Балагуров, Н. Н. Крестьяникова, А. В. Николаев // *Метеорология и гидрология*. 2021. № 9. С. 5–20.

Guide to Climatological Practices // WMO. 2018. N 100. 182 p.

Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation // WMO. 2008. N 8. 569 p.

Manual on the Global Observing System // WMO. 2015. N 544. 76 p.

Manual on the WMO Integrated Global Observing System // WMO. 2015. N 1160. 108 p.

Nash J. Measurement of upper-air pressure, temperature and humidity // *Instruments and Observing Methods*. WMO. Report. 2015. N 121. 89 p.

References

Aldukhov O.A., Bagrov A.N., Gordin V.A. Statisticheskie karakteristiki prognosticheskikh meteorologicheskikh polej i ih ispolzovanie dlia obektivnogo analiza [Statistical Characteristics of Prognostic Meteorological Fields and Their Use in Objective Analysis]. *Meteeteorologiya i Gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], 2002, no. 10, pp.18-33. (in Russian)

Balagurov A.M. Edinstvo aerologicheskikh izmerenij. [Uniformity of Aerological Observations]. *Sovremennyye tendentsii i perspektivy razvitiya gidrometeorologii v Rossii: Materialy II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoi konferentsii* [In Proceedings of the 2nd All-Russian Scientific and Practical Conference “Modern Trends and Prospects of Developing Hydrometeorology in Russia”]. Irkutsk, 2019, pp. 679-692. (in Russian)

Zaitceva N.A. *Aerologia* [Aerology]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1990, 325 p. (in Russian)

Zaitceva N.A., Balagurov A.M., Kreстьяnikova N.N., Nikolaev A.V. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya radiozondirovaniya v Rossii. [Current state and prospects of development of radiosondeing in Russia]. *Meteeteorologiya i Gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], 2021, no. 9, pp. 5-20. (in Russian)

Guide to Climatological Practices. *WMO*, 2018, no. 100, 182 p.

Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. *WMO*, 2008, no. 8, 569 p.

Manual on the Global Observing System. *WMO*, 2015, no. 544, 76 p.

Manual on the WMO Integrated Global Observing System. *WMO*, 2015, no. 1160, 108 p.

Nash J. Measurement of upper-air pressure, temperature and humidity. *Instruments and Observing Methods: WMO. Report*, 2015, no. 121, 89 p.

Сведения об авторе

Балагуров Александр Михайлович

кандидат физико-математических наук,
главный метролог

Центральная аэрологическая обсерватория
Росгидромета

141701, Россия, г. Долгопрудный

Московской обл., ул. Первомайская, 3

e-mail: a.balagurov@mail.ru

Information about the author

Balagurov Alexander Mikhailovich

Candidate of Sciences (Physical and
Mathematical), Chief Metrologist

Central Aerological Observatory of
Roshydromet

3, Pervomayskaya, Dolgoprudny, Moscow

region, 141701, Russian Federation

e-mail: a.balagurov@mail.ru

Код научной специальности: 25.00.30

Статья поступила в редакцию 24.01.2022; одобрена после рецензирования 21.02.2022; принята к публикации 03.03.2022

The article was submitted January, 24, 2022; approved after reviewing February, 21, 2022; accepted for publication March, 3, 2022