

# Проблемные вопросы обеспеченности гидрометеорологической информацией Арктической зоны России при решении задач ее устойчивого развития

doi



**В. И. Тимофеев,**  
*к. т. н., доцент, главный специалист  
научно-образовательного центра,  
зав. базовой кафедрой СЗРЦ Концерна  
ВКО «Алмаз – Антей», ГУАП  
timofeev-vi@yandex.ru*



**Д. К. Щеглов,**  
*к. т. н., начальник расчетно-  
исследовательского отделения АО «КБСМ»,  
зав. базовой кафедрой СЗРЦ Концерна  
ВКО «Алмаз – Антей»,  
БГТУ «Военмех» им Д. Ф. Устинова  
\_dk@bk.ru*

*В статье представлен комплексный анализ современного состояния и направлений развития наблюдательной сети Росгидромета в российском секторе Арктики с позиций обеспечения гидрометеорологической безопасности всех видов деятельности Российской Федерации в этом регионе. Предложен алгоритм рационального размещения сети измерительных автоматических станций, определяющий оптимальную систему гидрометеорологических наблюдений в Арктике, с учетом экономического эффекта их функционирования и затрат на содержание.*

**Ключевые слова:** Арктическая зона России, Росгидромет, мониторинг окружающей среды, сеть наблюдательных гидрометеорологических станций, плотность наблюдательной сети, автоматические метеорологические станции, многоцелевая космическая система «Арктика», алгоритм рационального размещения сети наблюдательных станций.

### Введение

Уже около двух десятилетий Арктический регион земного шара приковывает к себе пристальное внимание мировой общественности и является в определенной степени местом пересечения национальных интересов государств, примыкающих к данному региону.

Арктика становится своего рода локомотивом для поступательного развития многих отраслей промышленности и научно-прикладной деятельности как в нашей стране, так и в странах арктического региона.

Как известно, Северный полюс и прилегающая к нему часть Северного Ледовитого океана не принадлежат ни одной из стран. В настоящее время исключительные экономические зоны, которые простираются на 200 морских миль (350 км) от территориальных вод, имеют следующие государства: Россия, Канада, Норвегия, Дания и США. Эти страны стремятся значительно усилить свое влияние в Арктике, в том числе за счет военного присутствия, и трактуют в свою пользу юридически не определенный статус национальных границ

по двум причинам: во-первых, вследствие наличия значительных запасов полезных ископаемых, особенно углеводородов, что позволит им в будущем обеспечить высокие показатели темпов роста национальных экономик; во-вторых, из-за увеличения транспортной доступности региона вследствие уменьшения площади ледового покрова Арктики, что позволит более интенсивно и продолжительно использовать Северный морской путь (СМП), и проложить новые маршруты, соединяющие Тихий и Атлантический океаны.

Стратегический интерес к Арктике связан не только с большими запасами природных ресурсов, но и с ожидаемым влиянием этого региона на изменение климата. В последние два десятилетия Арктический регион сталкивается с новыми нетипичными климатическими феноменами и вызовами, что предполагает планирование самых серьезных превентивных мер для смягчения быстро нарастающих и потенциально опасных природных явлений и экологических бедствий, которые сопровождаются расширением деятельности человека в регионе. Арктика становится одним из важнейших объектов долгосрочных стратегий адаптации

к изменениям климата, рамки которых были заданы Парижским соглашением от 2015 г.

В этой связи представляется чрезвычайно важным и актуальным тот факт, что распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 февраля 2019 г. № 276-р предписано выделить в 2019 г. Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромету) ассигнования в размере 868,75 млн руб. из резервного фонда Правительства Российской Федерации в целях организации и проведения в 2019 г. научных исследований и мониторинга окружающей среды в Арктике в рамках экспедиции «Трансарктика-2019».

Данные исследования планируется провести в рамках восстановления научных исследований Арктического региона, включая высокоширотную Арктику. Целью исследований является совершенствование системы гидрометеорологической безопасности деятельности России в Арктике для реализации научных и практических интересов государства, предусмотренных Основами государственной политики России в Арктике на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу, а также Стратегией развития Арктической зоны России (АЗР) и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г.

Комплексные научные изыскания и государственный мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды Арктики будут проведены с использованием четырех научно-исследовательских и научно-экспедиционных судов Росгидромета. Мониторинг окружающей среды предполагает, прежде всего, расширение сети наблюдательных станций Росгидромета и оснащение их современными средствами гидрометеорологических и экологических измерений,

отвечающих требованиям Всемирной метеорологической организации (ВМО).

Во время экспедиции предусматривается вмораживание во льды научно-экспедиционного судна «Академик Тreshников». В рейсе из г. Владивосток через Берингов пролив до побережья Кольского полуострова пройдут и проведут мониторинг природной среды окраинных арктических морей команды научно-экспедиционных судов «Михаил Сомов» и «Профессор Мультиановский». Кроме того, будет организован образовательный процесс «Плавучий университет» на борту учебно-исследовательского судна «Профессор Молчанов». Ожидается, что исследования в арктических морях и льдах ученые завершат осенью 2019 г.

## 1. Современное состояние наблюдательной сети Росгидромета в российском секторе Арктики

Представляется вполне очевидным, что все без исключения виды деятельности в Арктике в определенной степени связаны с исключительно жесткими погодно-климатическими условиями Арктики, которые наблюдаются в течение всего года. Без их комплексного анализа, прогнозирования и последующего детального учета в принципе невозможен любой вид деятельности в Арктике и в целом перспектива освоения арктических территорий. В Арктике все чаще наблюдаются значительные климатические аномалии (отклонения от среднемесячных и средних многолетних значений) в распределении атмосферного давления и геопотенциала, что влечет за собой увеличение повторяемости возникновения опасных и стихийных природных явлений и экологических бедствий, с ними связанных (рис.1, 2).

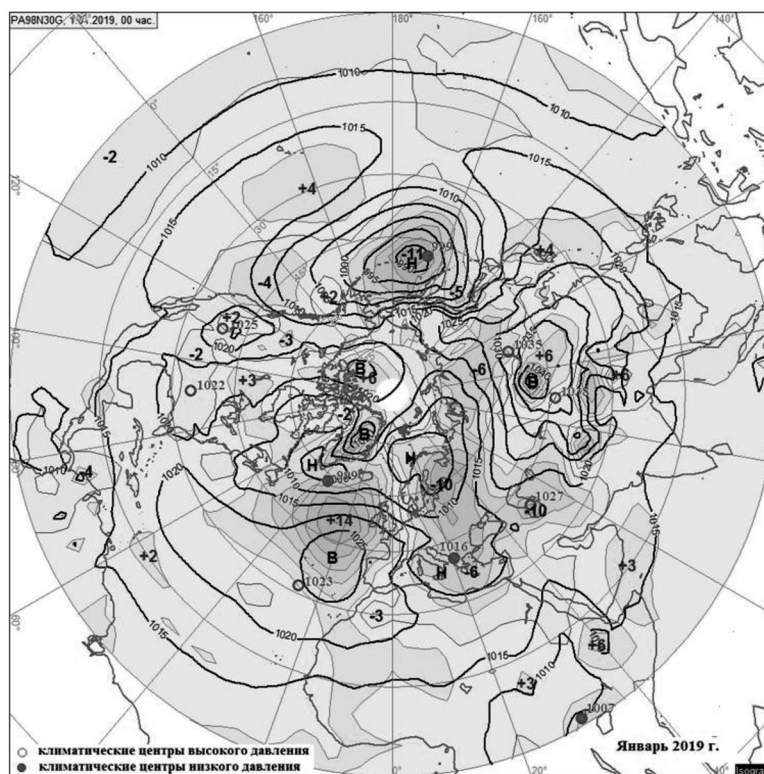


Рис. 1. Карта давления и аномалий давления на уровне моря (гПа), январь 2019 г.

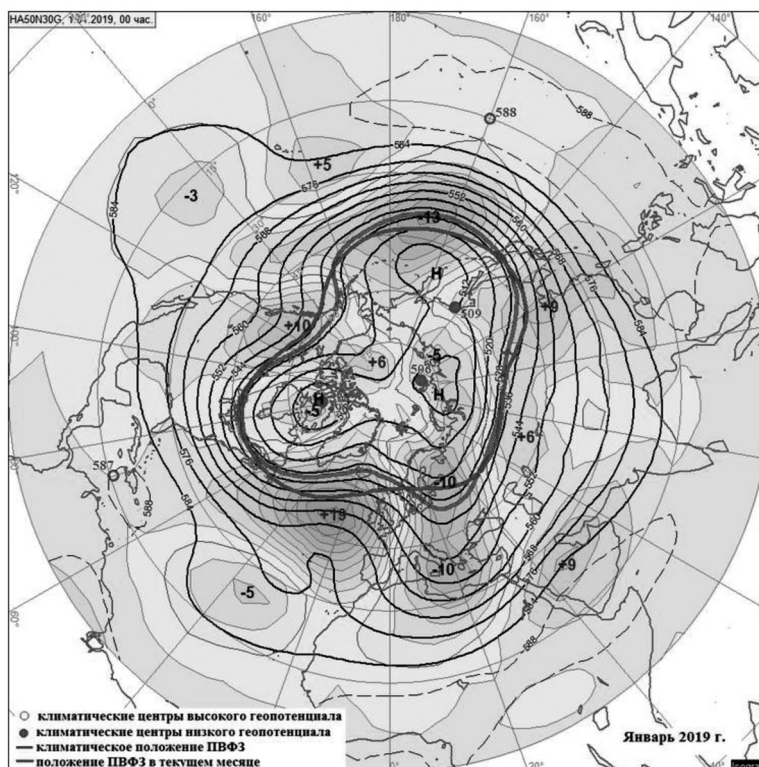


Рис. 2. Карта геопотенциала и аномалий геопотенциала АТ-500 (дам), январь 2019 г.

Для минимизации рисков, связанных с образованием и воздействием опасных и стихийных гидрометеорологических явлений в Арктике, необходима разветвленная сеть гидрометеорологических станций и постов, а также отлаженная система прогнозирования экстремальных метеорологических величин и опасных явлений погоды на короткие, средние и большие сроки, отвечающая современным требованиям ВМО. Поэтому для обеспечения своих национальных интересов Российская Федерация должна проводить постоянный мониторинг гидрометеорологической обстановки в этом регионе.

Для гидрометеорологического обеспечения хозяйственной, военной и научной деятельности в Арктике необходим качественный и оперативный мониторинг (наблюдения – анализ – оценка – прогноз) гидроме-

теорологических процессов, протекающих в атмосфере и океане АЗР, информацию о которых необходимо получать в необходимом объеме с целью их анализа и последующего прогнозирования и учета. Сеть полярных гидрометеорологических станций является основой этого мониторинга.

Создание наблюдательной сети гидрометеорологических станций в 1930-е гг. прошлого века было связано с этапом образования Главного управления Северного морского пути (СМП), а ее статус в то время определялся необходимостью информационного обеспечения мореплавания на трассах национальной транспортной магистрали СМП и полетов авиации в высоких широтах.

Пространственный охват, количество наблюдательных платформ и пунктов были весьма значитель-

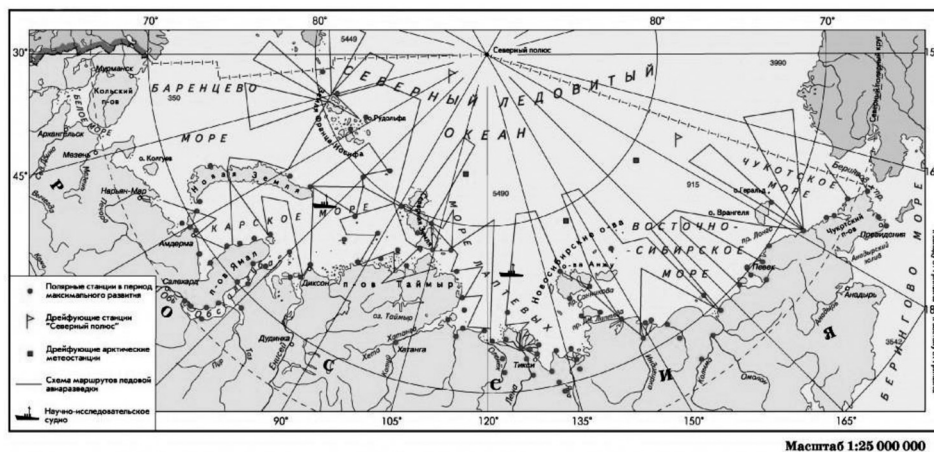


Рис. 3. Расположение наблюдательных станций Росгидромета по состоянию на конец 1990-х гг.

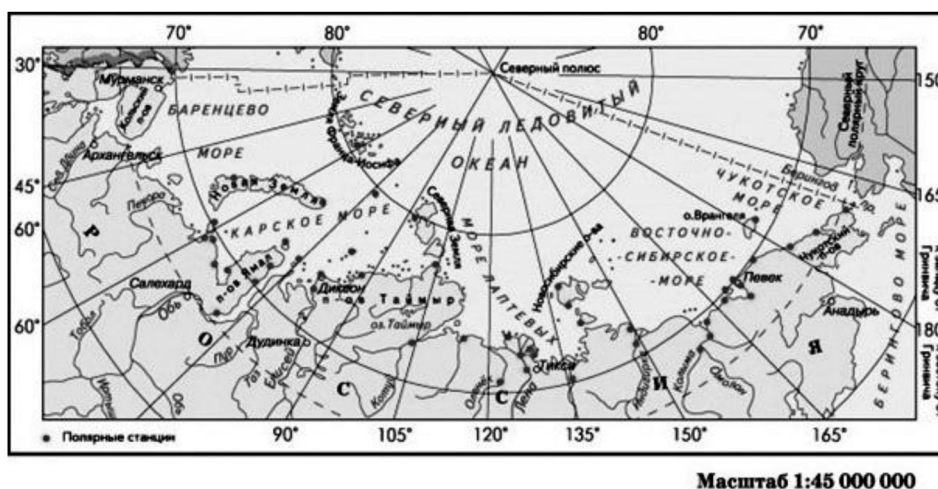


Рис. 4. Расположение наблюдательных станций Росгидромета по состоянию на 2006 г.

ными. Комплексность измерений параметров природной среды достигалась за счет обширной топологии системы. В 1985 г. функционировали 110 основных метеорологических станций. Из них на 24 проводились аэрологические, на 24 — актинометрические, на 80 — морские (и речные) гидрологические наблюдения. 32 полярные станции являлись корреспондентами ВМО. Кроме этого в Арктике источниками информации являлись и другие наблюдательные платформы (дрейфующие станции, экспедиционные и транспортные суда, самолеты ледовой разведки и т. д.). Системный характер наблюдений обеспечивал информационные потребности государственной деятельности в то время (рис. 3).

Новая экономическая среда, сформировавшаяся в 1990-е гг., предъявила иные подходы к организации хозяйственной деятельности в данном регионе. Северный морской путь фактически перестал существовать, утратив государственный статус. В конце 1990-х — начале 2000-х гг. произошло обвальное сокращение сети полярных станций, что было вызвано дефицитом финансирования арктических Управлений гидрометеорологической службы (ГМС) (рис. 4).

В настоящее время в работе наблюдательной сети существуют серьезные проблемы. Расстояние между гидрометеорологическими станциями (плотность сети) в 2-2,5 раза, а между аэрологическими — в 3-4 раза превышает допустимые пределы, и ведомственные нормативы плотности не выдерживаются. Из-за отсутствия наблюдений в высокоширотных районах архипелагов Новая Земля, Земля Франца-Иосифа, Северная Земля, островах Анжу, Де-Лонга — конфигурация сети неблагоприятна.

Как известно, гидрометеорологическая информация (ГМИ) должна удовлетворять ряду обязательных требований (точность, комплексность, регулярность, достоверность, оперативность, синхронность, глобальность, трехмерность, актуальность, презентативность), для чего необходимо ее получение в цифровом виде с различных систем (платформ) сбора ГМИ (наземной, морской, аэрологической, радиолокационной, космической, самолетной, аэростатной и др.). Однако в силу ряда специфических особенностей и, прежде

всего, удаленности территории Арктики многие из этих систем сбора ГМИ используются весьма ограничено или не используются вовсе.

Недостаточное разрешение наблюдательной системы вследствие ее малой плотности негативно отражается на качестве гидрометеорологических прогнозов, зачастую делая прогностическую деятельность малоэффективной. Дефицит первичной информации уже привел к тому, что гидрометеорологические прогнозы стали зачастую базироваться на данных зарубежных центров: Европейского центра среднесрочных прогнозов (ECMWF), английского центра погоды (Брэнелл) и др., поступающих по международному обмену. Оправдываемость ледовых прогнозов снизилась из-за недостатка информации о толщине льда и фазах наступления критических ледовых процессов. Почти полностью прекращены инструментальные наблюдения за уровнем моря, дрейфом льда, волнением моря. Актинометрические наблюдения осуществляются, в основном, по сокращенной программе. Поступление оперативной ГМИ в автоматические станции погоды Росгидромета (и центр «Север») в среднем по Арктике оценивается в 70%, по аэрологии — в 30%, по гидрологии — в 50%, что является недостаточным для полноценного функционирования системы гидрометеорологического обеспечения (ГМО) всех видов деятельности в Арктике. С точки зрения критериев климатического мониторинга и долгосрочного прогноза погоды не достигается даже уровень минимальной достаточности, который в результате специальных исследований определен в 63-68 полярных станций.

Помимо дефицита первичной ГМИ по причине низкой плотности наблюдательной сети следствием недофинансирования Росгидромета явилось также замедление темпов развития автоматизированной ледовой информационной системы, являющейся важнейшим элементом ГМО на трассах СМП. Система оперативного ГМО арктического судоходства, создававшаяся в течение многих десятилетий, фактически поставлена на грань разрушения.

Что касается получения ГМИ с помощью воздушной разведки погоды (ВРП), то многие специалисты совершенно обосновано полагают, что данный способ

получения ГМИ в арктических районах уже устарел, и не отвечает современным требованиям (помимо попутной ВРП по маршруту полета летательного аппарата).

Получение ГМИ с акватории Северного Ледовитого океана с помощью плавучих автоматических гидрометеорологических станций (якорной (ПАГМС-Я), дрейфующей (ПАГМС-Д) и др.) также не отвечает современным требованиям к ГМИ и носит ярко выраженный сезонный характер.

Однако, начиная с 2010 г. наметилась некоторая позитивная динамика развития наблюдательной сети в Арктике. В настоящее время функционируют и передают ГМИ 52 полярные станции Мурманского, Северного, Якутского и Чукотского Управлений ГМС, на которых проводятся стандартные метеорологические (52 полярные станции), морские гидрологические (44 полярные станции), актинометрические (10 полярных станций), аэрологические (7 полярных станций) наблюдения. 32 полярные станции являются труднодоступными, 27 — реперными, 23 — корреспондентами ВМО.

В последние годы наблюдается очевидная стабилизация сети и восстановлены 5 полярных станций. На них осуществлено строительство и ремонт служебных помещений, обеспечение новым энергетическим оборудованием, средствами спутниковой связи, транспортными средствами. Завершен начальный этап реализации предложений ARO NOAA США об организации климатических обсерваторий в Арктике. В качестве первого пункта базисной сети выбрана полярная станция Тикси.

Однако этих мер явно недостаточно для полноценного и эффективного функционирования наблюдательной сети в АЗР в целом. По этой причине заметно уменьшилась точность всех видов разрабатываемых гидрометеорологических прогнозов по АЗР.

## 2. Внедрение автоматических станций для оснащения наблюдательной сети в Арктике

В настоящее время мониторинг гидрометеорологических процессов и явлений в Арктике обеспечивает Росгидромет, и отчасти, метеорологические станции арктических аэродромов Министерства обороны РФ, количество которых достаточно мало, чтобы в должной мере обеспечить АЗР регулярными данными гидрометеорологических наблюдений.

Опыт оснащения и эксплуатации наблюдательной сети стран арктического региона свидетельствует о том, что наиболее приоритетным направлением развития сети является широкое внедрение автоматических метеорологических станций в Арктике.

В настоящее время в некоторых региональных управлениях Росгидромета, например, на Чукотке и в Якутии, более трети наблюдательных станций относятся к категории труднодоступных. На них постоянно проживают и работают около 1400 наблюдателей (техников-метеорологов), которых Росгидромет обязан обеспечивать всем необходимым для проведения наблюдений. На сети наблюдательных станций Росгидромета, которые функционируют сегодня, работает

персонал, который в течение суток с периодичностью 3 часа вручную выполняет наблюдения за гидрометеорологическими явлениями и измерение гидрометеорологических величин, передавая эту информацию в региональные центры Росгидромета. В первую очередь, это данные о количестве, форме и высоте облачности, явлениях погоды, интенсивности, количестве и виде осадков, горизонтальной дальности видимости, направлении и скорости ветра, температуре и влажности воздуха, атмосферном давлении, интенсивности солнечной радиации и высоте снежного покрова.

Для сравнения следует заметить, что в арктической зоне Канады, находящейся в сходных широтно-климатических условиях, по принципу ручных наблюдений и измерений обеспечивается работа только одной наблюдательной станции. На других удаленных станциях используется автоматическое оборудование, которое требует лишь периодического регламентного обслуживания. Среди специалистов широко известны хорошо зарекомендовавшие себя автоматические метеорологические станции, выпускаемые финской фирмой Vaisala. При этом Росгидромет не обладает сегодня классом автоматических метеостанций, которые смогли бы работать в арктических условиях без участия человека.

В нашей стране неоднократно предпринимались попытки создания наземных автоматических метеорологических станций, однако они использовались только в опытной эксплуатации и не были введены в штат технических средств на постоянной основе.

Тем не менее, в настоящее время предпринимаются попытки создания аналогичного отечественного специализированного измерительного оборудования, в том числе, в контексте реализации концепции импортозамещения. Так, томские ученые планируют в 2019 году создать прототип универсальной, полностью автоматизированной метеостанции для постоянного мониторинга погодных условий в Арктике, и уже в 2020 г. испытать ее в условиях Арктики и поставить на серийное производство. Разработкой стационарных метеостанций для Арктики, которые будут работать полностью автономно, без участия людей, занимаются ученые Института мониторинга климатических и экологических систем (ИМКЭС) Сибирского отделения РАН совместно с компанией «Сибаналитприбор»: институт ведет фундаментальные и прикладные исследования, а компания отвечает за производство и внедрение разработок.

Для исследования основных атмосферных параметров будут применяться самые современные методы — акустические, оптические и радиационные, которые должны обеспечить надежность и устойчивость работы автоматических метеостанций в экстремальных условиях Арктики.

Нынешние методы измерения гидрометеорологических параметров этим требованиям не отвечают. Например, традиционно для измерения направления и скорости ветра на сети используется анеморумбометр (вертушка), вращение которого преобразуется в показание направления и скорости ветра. В Арктике, где температура воздуха опускается ниже  $-60^{\circ}\text{C}$ , замерзает смазка подшипников и показания анеморумбометра

становятся искаженными. В автоматической метеостанции параметры ветра будут измеряться с помощью ультразвукового излучения.

Параметры осадков — интенсивность, количество и даже размер падающих частиц дождя и снега — планируется определять с помощью лазерного метода. Это более точный метод измерения, чем используемый сейчас — с помощью прибора под названием «Осадкомер Третьякова», который изобретен еще в XIX веке, и представляет собой некое подобие цинкового ведра, в котором накапливаются осадки, а затем измеряется их количество.

Одной из серьезных проблем в создании и эксплуатации автоматической метеостанции является разработка источников питания, которые должны работать на солнечной и ветровой энергии по причине отсутствия электрических сетей. Однако солнечные батареи в полярную ночь не работают, а ветровые не работают при слабом ветре и при его отсутствии (штиле). Для решения этого вопроса учеными ИМКЭС и Томского политехнического университета (ТПУ) создается комплексный источник питания, использующий энергию Солнца, ветра и водорода.

Что касается финансирования разработки автоматической метеостанции, то разработки ведутся на средства гранта Федеральной целевой программы, а также института и компании: 105 млн руб. выделяется из федерального бюджета и 45 млн руб. выделяет Институт и его индустриальный партнер «Сибаналитприбор».

### 3. Внедрение многоцелевой космической системы «Арктика»

Не лучшим образом обстоит решение проблемы обеспеченности Арктической зоны России космической метеорологической информацией, так как в связи

с труднодоступностью и удаленностью арктического региона России было бы целесообразно восполнять дефицит ГМИ за счет использования космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в том числе гидрометеорологического назначения.

В целом арктический регион мало доступен для наблюдений КА международной метеорологической группировки, находящимися на геостационарных орбитах, включая российский геостационарный КА «Электро-Л», которые обеспечивают устойчивую связь только до 70° с.ш. Поэтому специалисты ГМС не получают в полном объеме космическую информацию, в том числе изображения (снимки) облачной и ледовой обстановки в Арктике.

В связи с этим в последние годы заметно вырос интерес к разработке спутниковых метеорологических систем на высокоэллиптических орбитах (ВЭО). Научно-производственное объединение (НПО) им. С. А. Лавочкина и Научно-исследовательский центр (НИЦ) «Планета» предложили создать многоцелевую космическую систему (МКС) «Арктика» (рис. 5), состоящую из ракетно-космического комплекса, наземного комплекса приема, обработки и распространения данных, наземного комплекса управления КА «Арктика-М» и наземного сегмента системы связи.

КА «Арктика-М» создан с учетом опыта, накопленного в ходе эксплуатации первых двух аппаратов серии «Электро-Л». Высокоэллиптическая орбита КА «Арктика-М» будет иметь следующие параметры: высота апогея — 40000 км, высота перигея — 1000 км, наклонение — 63°, период обращения — 12 ч. По набору оборудования спутник «Арктика-М» будет аналогичен метеорологическим геостационарным КА ДЗЗ серии «Электро-Л». На каждый аппарат комплекса

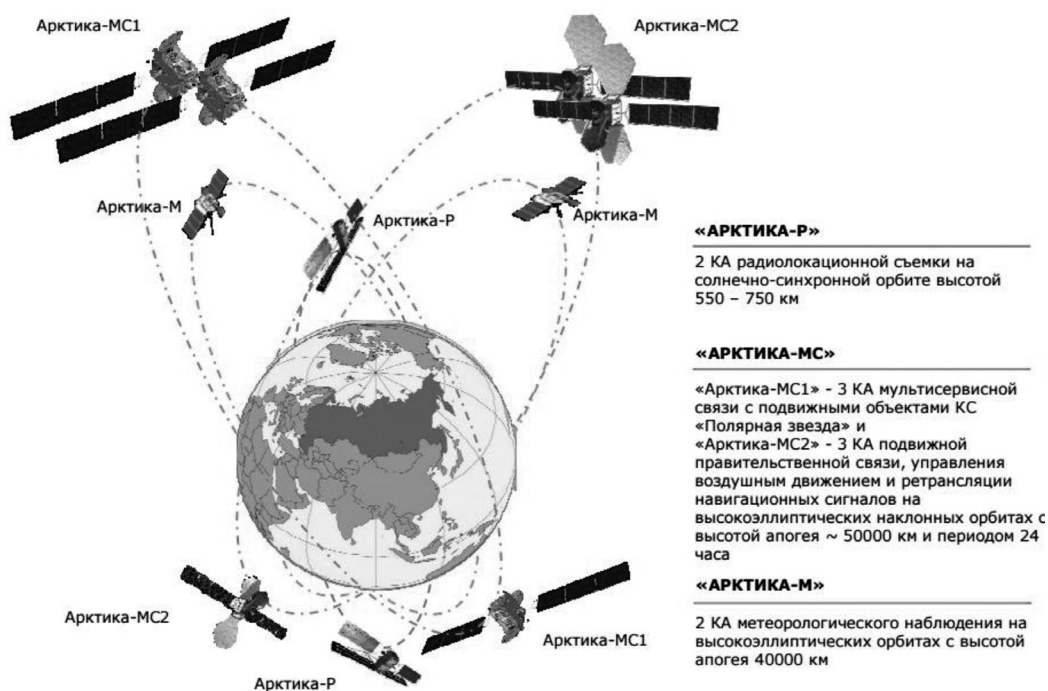


Рис. 5. Планируемый состав орбитальной группировки МКС «Арктика»

«Арктика-М» установят по два многозональных сканирующих устройства (МСУ-ГСМ), которые будут резервировать друг друга, повышая надежность системы. Они также смогут работать и одновременно. В приборах удалось существенно повысить точность измерений, координатной привязки и радиационную стойкость.

Данная МКС позволит проводить съемку двух типов — оптическую и радиолокационную. В Арктике эффективнее использовать радиолокационный тип, поскольку именно этот вид съемки позволяет определять вид льда и проводить съемку даже в условиях облачности. Принцип работы строится за счет вытянутой орбиты, когда спутник постоянно находится над арктической зоной. Снимок передается в Центр управления КА в Арктике, где он обрабатывается, и через связной арктический КА отправляется потребителю (капитану морского судна, командиру воздушного судна и т. п.).

Первоначально первый КА «Арктика-М» серии «Арктика» планировалось вывести на космическую орбиту еще в 2014 г. Однако запуски ежегодно переносились по причине неготовности бортовой измерительной аппаратуры. Сейчас запуск запланирован на 2019 г. После выведения на орбиту двух аппаратов серии «Арктика» Гидрометцентр России будет непрерывно получать оперативную информацию о состоянии атмосферы, океана и ледового покрова на полюсах Земли. Это позволит повысить точность расчетных гидродинамических моделей при составлении краткосрочных прогнозов погоды и предоставит ученым большой объем новых данных для изучения феномена глобального изменения климата.

Таким образом, создание МКС «Арктика» в полной комплектации позволит:

- комплексно решить задачи инновационного социально-экономического развития северных регионов России и международного транспортного сообщения;
- обеспечить прогресс в области прогноза погоды (как в региональном, так и в глобальном масштабах) и в сфере предсказания возникновения опасных и стихийных явлений погоды, а также климатических аномалий;
- создать развитую информационную инфраструктуру для обеспечения безопасной эксплуатации транспортной системы, мониторинга экологической обстановки;
- создать информационную основу для расширения углеводородной и минерально-сырьевой добывающей базы;
- обеспечить развитие спутникового радио- и телевидения, а также предоставление полного спектра услуг связи в арктических регионах России.

#### 4. Алгоритм рационального размещения сети измерительных автоматических станций

В контексте вышеизложенного представляется чрезвычайно актуальной задача рационального размещения сети автоматических метеорологических станций в АЗР, которая является частью более

широкой задачи — рационального планирования автоматических систем гидрометеорологических наблюдений. Такое планирование должно относиться ко всем параметрам наблюдательных систем — к комплексу измеряемых гидрометеорологических величин, точности измерений, частоте производства этих измерений и пространственному расположению пунктов измерений.

Полностью корректное решение задачи рационального планирования систем гидрометеорологических наблюдений может быть получено только с привлечением экономических соображений. Этот тезис сразу становится очевидным, если рассмотреть два предельных случая — полное отсутствие наблюдений и идеальную систему таких наблюдений.

В первом из этих случаев никаких затрат на организацию и выполнение наблюдений не было бы. Вместе с тем отсутствие диагностической, а потому и прогностической ГМИ, привело бы к значительному ущербу как для хозяйственной и иной деятельности в целом.

Под идеальной будем понимать такую гипотетическую систему наблюдений, которая обеспечивает получение точных значений гидрометеорологических величин в каждой точке пространства в фиксированный момент времени. Однако затраты на содержание подобной системы наблюдений были бы чрезвычайно велики, так что идеальная система наблюдений экономически нецелесообразна.

Сумма затрат  $C$  на содержание системы гидрометеорологических измерений и убытков  $L$  вследствие неточности ГМИ:

$$\Sigma = C + L = \text{constant}.$$

В обоих предельных случаях сумма велика: при полном отсутствии наблюдений слишком велико  $L$  (хотя  $C=0$ ), а при идеальной системе слишком велико  $C$  (хотя  $L$  мало). Отсюда следует, что должна существовать совокупность значений параметров системы наблюдений, минимизирующая величину  $\Sigma$ , т. е. такая, при которой сумма затрат и убытков меньше, чем при любом другом наборе этих параметров. Указанная совокупность и определяет оптимальную систему наблюдений.

Рассмотрим простую количественную схему, реализующую описанный подход. В первом приближении решим задачу о рациональном размещении сети станций, т. е. примем фиксированными все параметры сети, кроме ее густоты (плотности), которую будем характеризовать числом станций  $N$  на заданной площади  $S$ . Пусть стоимость каждой из этих станций  $C_0$  (т. е. затраты на ее содержание в течение, например, года с учетом также единовременных затрат при основании станции) одна и та же, так что общие затраты на содержание сети составляют

$$C = C_0 N.$$

Предположим, что потери из-за неточного знания ГМИ определяются одним параметром неточности ин-

формации  $F$ , а именно, являются линейной функцией этого параметра

$$L = aF + b,$$

где  $a > 0$ , т. е. чем менее точно мы знаем ГМИ, тем больше потери. Если принять условие фиксированности всех остальных параметров сети, то параметр  $F$  будет зависеть только от ее густоты (плотности),  $F = F(N)$ , а именно, будет убывающей функцией величины  $N$ , так как с увеличением густоты (плотности) сети степень неточности информации уменьшается. Максимальные потери при полном отсутствии наблюдательных станций

$$L_{\max} = aF(0) + b,$$

так что уменьшение потерь благодаря работе  $N$  станций составляет

$$U(N) = L_{\max} - L(N) = a[F(0) - F(N)], \quad (1)$$

а положительный эффект (прибыль) от содержания  $N$  станций оценивается разностью между  $U(N)$  и  $C(N)$ :

$$G(N) = U(N) - C_0 N.$$

Как следует из формулы (1), функция  $U(N)$  обращается в ноль при  $N=0$ . С ростом  $N$  она стремится к предельному значению, равному  $U(\infty) = aF(0)$ , так как  $F(\infty)=0$ . При этом должно выполняться неравенство

$$-\left. \frac{dF}{dN} \right|_{N=0} > \frac{C_0}{a},$$

так как в противном случае сеть станций не рациональна ни при каком  $N$ . Мы видим, что содержание сети выгодно, если  $N < N_{\max}$ , определяемой равенством  $U(N) = C(N)$ , т. е.

$$a[F(0) - F(N_{\max})] = C_0 N_{\max}.$$

Максимальный положительный эффект (прибыль) от использования сети наблюдательных станций получается при существенно меньшем значении  $N_0$  числа станций  $N$ , которое можно найти из равенства

$$-\left. \frac{dF}{dN} \right|_{N=N_0} > \frac{C_0}{a},$$

Этим равенством и определяется оптимальная густота (плотность) наблюдательной сети автоматических станций.

### Заключение

Современные требования к информационному обеспечению Арктической зоны России тесно связаны с уровнем промышленного и хозяйственного освоения полярных районов, другими приоритетными направлениями деятельности государства в Арктике, а также с дифференциацией источников финансирования

работ, в том числе в области гидрометеорологии и мониторинга природной среды.

Позитивно оценивая роль международного сотрудничества в поддержании системы наблюдений в Арктике, нельзя не учитывать фактор возможных неблагоприятных последствий пересечения национальных интересов России и ряда других государств в арктическом регионе. Оспаривается суверенитет Российской Федерации над арктическими проливами, статус некоторых арктических морей, как внутренних территориальных морей России. В Норвегии создается современный информационный центр слежения за ледовой и гидрометеорологической обстановкой в западной Арктике. Существование проблемы международных отношений в Арктике в аспекте делимитации шельфовой зоны и морских пространств очевидно, поэтому наличие геополитического фактора следует учитывать при разработке мер по обеспечению гидрометеорологической безопасности в Арктике.

Стесненные условия из-за дефицита средств и времени определяют целесообразность направления основных усилий на поддержание, прежде всего, полярных станций, входящих в мировую климатическую сеть, для чего необходимы: оснащение сети новыми автоматическими метеорологическими станциями отечественного производства; реконструкция базовой инфраструктуры существующих наблюдательных станций; обеспечение сети стандартными гидрометеорологическими приборами, отвечающими современным требованиям по качеству и однородности измерений; установка спутниковых средств связи типа АПК-ВИП «Гонец», «Globalstar» «INMARSAT»; скорейшее пополнение группировки КА ДЗЗ спутниками многоцелевой космической системы «Арктика» и введение в оперативную работу результатов космического мониторинга АЗР.

При решении задачи рационального планирования гидрометеорологических наблюдений в АЗР необходимо руководствоваться не столько их технической осуществимостью, сколько соображениями несколько иного характера. Наряду с внедрением в оперативную практику работы ГМС современных методов и средств измерений в настоящее время проводится интенсивная работа по оснащению наблюдательной сети автоматическими станциями, предназначенными для сбора, первичной обработки и доведения ГМИ. Автоматизация необходима, прежде всего, потому, что только на ее основе можно избежать постоянно растущих потребностей в затратах человеческого труда при производстве гидрометеорологических наблюдений и измерений. Вместе с тем внедрение новых методов гидрометеорологических измерений и автоматизация существующих наблюдений сопряжены с большими материальными затратами. Все это повышает актуальность задачи рационального размещения сети автоматических измерительных станций при решении задачи оптимального планирования системы гидрометеорологических измерений в интересах обеспечения гидрометеорологической безопасности и устойчивого развития Арктической зоны России.



*Список использованных источников*

1. Климатическая доктрина Российской Федерации. Утв. распоряжением Президента РФ от 17 декабря 2009 г. № 861-рп.
2. Изменение климата. Информационный бюллетень № 74. М.: Росгидромет, 2017. 37 с.
3. Обзор фонового состояния окружающей природной среды на территории стран СНГ за 2017 г./Под ред. Г. М. Черногаевой. М.: Росгидромет, 2018. 99 с.
4. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации/Под ред. В. М. Катцова. СПб., 2017. 106 с.
5. Л. С. Гандин, Р. Л. Каган. Статистические методы интерпретации метеорологических данных. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 356 с.
6. <https://geographyofrussia.com/polyarnye-stancii-rossijskogo-sektora-arktiki>.
7. <http://bastion-opk.ru/multi-space-system-arktika>.

**Problem issues of security hydrometeorological information the Arctic zone of Russia when solving the tasks its sustainable development**

**V. I. Timofeyev**, cand. sci. (tech.), docent, the head of computational-research department.

**D. K. Shcheglov**, cand. sci. (tech.).

The article presents a comprehensive analysis of the current state and development trends of the «Roshydromet» observation network in the Russian sector of the Arctic from the standpoint of ensuring the hydrometeorological safety of all activities of the Russian Federation in this region. Proposed algorithm for rational placement of a network automated measuring stations, determines the optimal system of hydrometeorological observations in the Arctic, with consider the economic effect of their operation and maintenance costs.

**Keywords:** Russian arctic zone, «Roshydromet», environment monitoring, network of observational hydrometeorological stations, observant network density, automated meteorological stations, multipurpose space system «Arctic», algorithm for rational placement of a network of observation stations.