

Вавилова в течение 15 лет работал круглогодичный ледниковый стационар ААНИИ, на котором была зафиксирована 5–10-летняя цикличность в повторении теплых летних сезонов, сопровождаемых интенсивным таянием снега и льда. Покровное оледенение архипелага Северная Земля является важным элементом глобальной климатической системы. Продолжение ряда наблюдений на ледниках архипелага представляется настоятельно необходимым.

Работы зимовочного состава НИС «Ледовая база Мыс Баранова» и сезонного отряда экспедиции «Север-2020» были обеспечены современными измерительными приборами и комплексами, что позволило получить высококачественную информацию.

В настоящее время наблюдения на стационаре продолжаются в рамках очередной круглогодичной экспедиции с участием 20 специалистов в соответствии с программой научных наблюдений. Программа



Рис. 7. Погрузочно-разгрузочные работы на НЭС «Академик Трёшников». Фото из архива ВАЭ

наблюдений сохраняет комплексный характер. Можно уверенно предположить, что значение стационара как самой северной российской обсерватории в наблюдательной сети Росгидромета будет не только сохраняться в обозримом будущем, но и возрастать в качестве важного звена в логистической цепи обеспечения морской научно-экспедиционной деятельности в Арктике. Импульс в развитии этой деятельности, безусловно, будет придан в ближайшие годы вводом в строй флота Росгидромета Ледостойкой самодвижущейся платформы «Северный полюс».

Следует ожидать также возрастания роли авиационного сообщения в арктических регионах. В этом аспекте район стационара располагает потенциалом воссоздания взлетно-посадочной полосы для приема самолетов различного класса.

С.А. Семенов, С.Б. Лесенков,  
В.Т. Соколов (ААНИИ)

## ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТА АРКТИКИ В 2020 ГОДУ

Изменения климата в Арктике привлекают особое внимание мирового сообщества, и одной из причин этого является эффект, выражающийся в более интенсивном потеплении и сокращении площади и толщины ледяного покрова в Северном Ледовитом океане и получивший название «арктическое усиление». В слежении за изменениями важная роль принадлежит наблюдениям на сети гидрометеорологических станций, большая часть которых в Арктике входит в государственную наблюдательную сеть Росгидромета. При оценке температуры к Арктике обычно относят область севернее 60° с. ш. Акватория Северного Ледовитого океана с морским льдом на поверхности занимает область севернее 70° с. ш., поэтому мы оцениваем температуру и в этой области, а также в области максимального распространения морского льда (морская Арктика).

Изменения температуры в этих областях, определенные по данным метеорологических станций, показывают рост, особенно в последние 10 лет, на которые приходится наибольшее число крупных положительных аномалий. Оценки изменения температуры воздуха в северной полярной области (СПО) и в арктических морях по данным 250 метеорологических станций, дополненным данными дрейфующих буев, показали (табл. 1), что 2020 год в СПО по рангу теплых лет оказался вторым теплым годом после 2016 года за период с 1936 года. Заметим, что глобальная средняя температура в 2020 году была второй самой высокой (после 2016 года), а в Северном полушарии — первой.

Наибольшие аномалии отмечены осенью во всех широтных зонах СПО. Пространственное распределение аномалий сезонных температур показывает наибольшие

Таблица 1  
Аномалия температуры воздуха (относительно 1961–1990 годов) и ранг аномалий (R) в широтных зонах СПО в 2020 году

Зона, °с.ш.	Год	R	Зима	R	Весна	R	Лето	R	Осень	R
70–85	3,6	2	3,0	7	4,0	2	1,3	3	5,4	1
60–70	2,9	1	3,2	3	3,5	2	1,7	3	3,3	1
60–85	3,2	2	3,1	3	3,7	2	1,7	2	4,2	1

положительные аномалии весной и осенью (более 9 °С) в Западной Сибири. Летом здесь и в Восточной Сибири отмечены вторые наибольшие значения для этих районов с 1936 года.

На побережье и островах арктических морей самые высокие значения положительных аномалий отмечены в Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском морях (табл. 2).

Если в зимние месяцы и в марте аномалии 2020 года не выделялись из общего ряда, то начиная с апреля развивается быстрое повышение температуры, и по

Таблица 2  
Аномалии температуры воздуха летом 2020 года в арктических морях

Море	Аномалия, °С	Ранг аномалии	Наиболее теплый год (аномалия, °С)	Наиболее холодный год (аномалия, °С)
Карское море	3,5	1	2020 (3,5)	1968 (-1,2)
Море Лаптевых	2,4	3	2019 (3,2)	1962 (-1,5)
Восточно-Сибирское море	2,1	3	2007 (3,7)	1949 (-1,6)
Чукотское море	1,3	9	2007 (3,9)	1965 (-1,6)

Таблица 3

Аномалии среднемесячной температуры (°C) воздуха в широтных зонах СПО и в морской Арктике в первой половине 2020 года

Зона	Месяцы, 2020					
	I	II	III	IV	V	VI
60–85° с.ш.	2,6	3,7	3,6	4,4	3,2	2,4
Ранг	9	7	6	2	1	1
70–85° с.ш.	2,0	3,6	3,4	5,3	3,3	2,1
Ранг	18	8	9	1	1	2
60–70° с.ш.	3,3	3,8	3,8	3,5	3,1	2,6
Ранг	4	4	3	3	1	2
Морская Арктика	2,2	3,5	4	6	3,3	2,4
Ранг	11	7	6	1	1	1

июнь аномалии оказались самыми большими за период с 1936 года (табл. 3).

Средняя температура воздуха в области морской Арктики (рис. 1б) рассчитывается по данным наблюдений на 41 метеостанции. По рангам среднемесячных аномалий видно, что зима 2020 года не была среди самых «теплых» зим за период с 1951 года (начало наблюдений на всех станциях). Но с апреля по июнь температура оказалась самой высокой за период наблюдений, а летняя температура — третьей в ряду теплых летних сезонов. Такой рост температуры в период таяния привел к быстрому сокращению общей площади льдов, которая следует за летней температурой (рис. 1в). В сентябре минимум средней площади льда в СЛО составил 3,74 млн кв. км, что близко к минимуму 2012 года.

Изменения средних зимней и летней температур воздуха на акваториях Северного Ледовитого океана, через которые проходят трассы Северного морского

пути (СМП), представлены на рис. 2. Лето 2020 года оказалось здесь самым теплым среди летних сезонов за весь период наблюдений (с 1951 года), что связано с выносом теплых воздушных масс с материка Сибири, где наблюдалось необычно теплое лето.

Площадь льда в сибирских арктических морях также следовала за летней температурой воздуха. После 1996 года произошло резкое уменьшение площади морского льда, которая после 2005 года вышла на своего рода «плато» с абсолютным минимумом в 2012 году, который в 2020 году был перекрыт (рис. 3а). Сентябрьская площадь льда в сибирских арктических морях в этот год составила 26 000 кв. км против 37 000 в 2012 году.

Для мониторинга ледовых условий представляет интерес сопоставление зимней температуры воздуха и максимальной толщины припая, которая наблюдается в апреле–мае вдоль побережья сибирских морей в тех же пунктах, где измеряется температура (рис. 3б).

Показателем влияния зимней температуры на рост толщины льда служит сумма градусо-дней мороза, предложенная еще в тридцатые годы В.Ю. Визе и Н.Н. Зубовым, исходя из уравнения теплового баланса и изменения толщины льда. Между этим показателем и толщиной припая высокая корреляция, подтверждающая его эффективность для мониторинга ледовых условий на трассе Северного морского пути.

Выбор новых индикаторов для мониторинга климата Арктики составляет одно из направлений повышения его эффективности. Мы предложили использовать в качестве индикатора температуру воздуха на семи арктических станциях, данные наблюдений на которых имеются с 1901 года. Средняя годовая и сезонная температура испытывают долгопериодное колебание с пе-

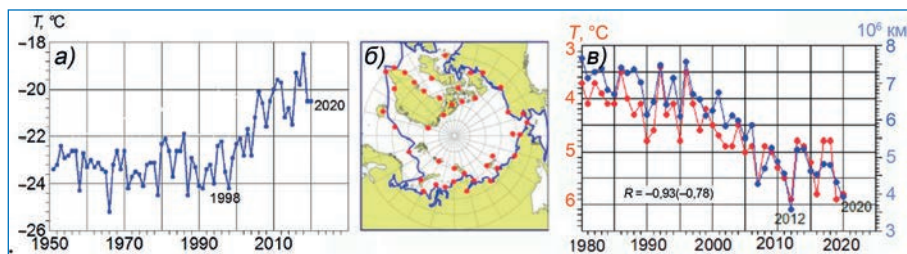


Рис. 1. Температура воздуха и площадь льда в морской Арктике в 1950–2020 годах: а – температура зимой; б – метеостанции в морской Арктике; в – температура летом и площадь морского льда в сентябре.  $R$  – коэффициент корреляции между температурой и площадью льда, в скобках – между отклонениями от тренда

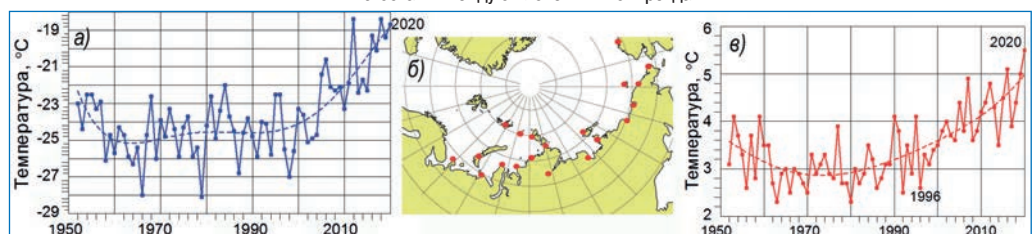


Рис. 2. Температура воздуха в сибирских арктических морях зимой (а) и летом (в) по данным наблюдений на 22 метеостанциях (б)

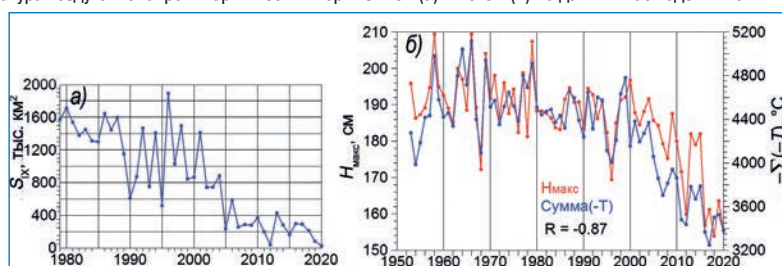


Рис. 3. Площадь льда в сентябре (а), максимальная толщина припая и сумма градусо-дней мороза (б) в сибирских арктических морях.  $R$  – коэффициент корреляции

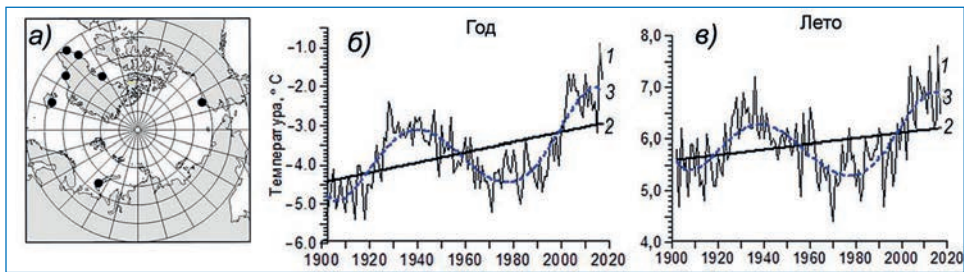


Рис. 4. Температура воздуха на 7 арктических станциях с длительными наблюдениями: а – положение метеорологических станций; б – среднегодовая температура; в – летняя температура. 1 – фактические значения, 2 – тренд, 3 – периодическое колебание

риодом около 70 лет (рис. 4) — арктическое проявление Атлантического мультидекадного колебания (АМО).

Вклад этого колебания и других составляющих в изменчивость температуры показан в табл. 4. Периодическое колебание вместе с трендом составляют предсказуемое низкочастотное колебание, отражающее более 50 % для средних за сезон и 71 % для средней за год межгодовой изменчивости температуры воздуха.

Таблица 4

Вклад составляющих межгодовой изменчивости средней за сезон и за год приповерхностной температуры воздуха на 7 арктических станциях за 1902–2017 годы

Составляющие	Вклад, %				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
ПК	30	37	44	39	49
Тренд	25	8	7	18	22
НЧК	<b>55</b>	<b>45</b>	<b>51</b>	<b>57</b>	<b>71</b>
Шум	45	55	49	43	29

Примечание. ПК – периодическое колебание, НЧК – низкочастотное колебание (НЧК = ПК + Тренд), Шум = (100 – НЧК).

Площадь льда в СЛО в навигационный период с августа по ноябрь тесно связана с летней температурой воздуха на 7 арктических станциях (табл. 5).

Таблица 5

Корреляция между летней температурой воздуха на 7 арктических станциях и среднемесячной площадью льда в СЛО за 1979–2017 годы

Месяц, сезон	I	II	III	IV	V	VI
	Площадь, занятая льдом концентрацией более 15 %					
Июнь	-0,71	-0,73	-0,66	-0,63	-0,70	-0,78
Июль	-0,65	-0,70	-0,65	-0,63	-0,61	-0,68
Лето	-0,64	-0,68	-0,61	-0,60	-0,64	-0,75
Месяц, сезон	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	Площадь, занятая льдом концентрацией более 15 %					
Июнь	-0,77	-0,78	-0,79	-0,79	-0,76	-0,68
Июль	-0,74	-0,77	-0,80	-0,80	-0,76	-0,73
Лето	-0,78	-0,80	-0,83	-0,84	-0,80	-0,75

Регрессионные модели на основе этой связи могут обеспечить эффективность прогноза при допустимой ошибке  $0,674\sigma$  более 30 %. Это означает, что мы можем, выделив НЧК и экстраполировав его на годы вперед, использовать НЧК как предиктор.

Наши исследования показали, что на арктический климат и морской лед влияют изменения температуры в низких широтах, куда поступает основная часть солнечной энергии. Здесь наблюдается рост температуры поверхности океана (ТПО) и приповерхностной температуры воздуха (ПТВ). Установлено, что осенние ТПО в тропиках Северной Атлантики и ПТВ в тропическом

поясе и температура воздуха в Арктике зимой связаны с коэффициентом корреляции 0,72 при запаздывании изменений в Арктике на 2,25 года. После сглаживания с окном три года, что убирает не более 10 % изменчивости, коэффициент корреляции между этими двумя параметрами уже составляет 0,93 (рис. 5).

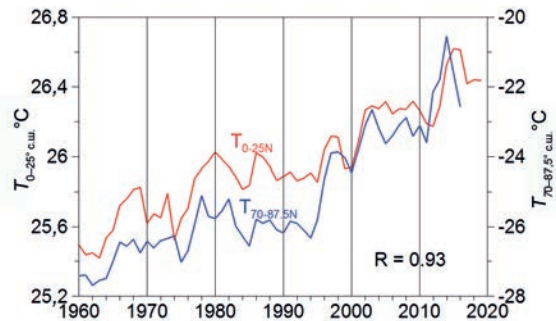


Рис. 5. ПТВ в области 0–25° с. ш. (красная линия) осенью и в Арктике в области 70–87,5° с. ш. (синяя линия) зимой через 2,25 года. Ряды сглажены скользящим осреднением по 3 года

Обобщение связей между тропиками и Арктикой представлено в виде графа корреляции на рис. 6.

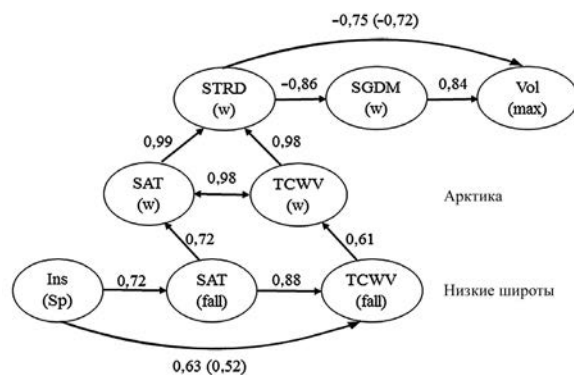


Рис. 6. Граф корреляций между климатическими параметрами в Арктике, в низких широтах и межширотных зависимостей зимой (W), весной (Sp), осенью (Fall).

Ins – инсоляция; SAT – ПТВ; TCWV – общее содержание водяного пара в столбе атмосферы; STRD – нисходящая длинноволновая радиация; SGDM – сумма градусо-дней мороза; Vol max – максимальный объем льда в Арктическом океане. Цифры над стрелками – коэффициенты корреляции с учетом запаздываний между низкими широтами и Арктикой

На рис. 6 показано, что на объем морского льда в Арктике влияет нисходящая длинноволновая радиация через приповерхностную температуру воздуха зимой, которая, в свою очередь, зависит от притока водяного пара из низких широт. В низких широтах на многолетнее увеличение содержания водяного пара осенью влияет многолетний рост инсоляции весной. Установлена также связь между изменениями ТПО в тропической Атлантике с притоком атлантической воды в Баренцево море и площадью льда зимой в СЛО.

Таким образом, ТПО и ПТВ в низких широтах представляют собой важный фактор, который во многом определяет климатические изменения в Арктике. Одна из причин этого — рост инсоляции в результате прецессии земной оси и других особенностей орбитальной динамики Земли. Это означает, что рост CO<sub>2</sub> не единственный фактор, который определяет потепление климата. Мы показали, что до 50 % тренда ТПО в низких широтах связано с инсоляцией. Это означает, что, даже

если полностью прекратить выбросы CO<sub>2</sub>, потепление продолжится.

Авторы благодарят А.В. Юлина, Е.А. Павлову, В.М. Смоляницкого за представление данных по льдам, А.Е. Вязилову, Н.И. Глок, Н.Е. Харланенкову за помощь в подготовке материалов.

Г.В. Алексеев, Е.И. Александров,  
Н.Е. Иванов (АНИИ)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПОДДЕРЖКИ СЕТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДРЕЙФУЮЩИХ БУЕВ В ЕВРАЗИЙСКОЙ АРКТИКЕ В 2018–2020 ГОДАХ

В статье представлены результаты работы АНИИ по поддержке сети дрейфующих метеорологических буев в Арктике как компонента синоптических наблюдений Росгидромета в открытом море в период 2018–2020 годов.

Основной целью данной работы являлось обеспечение покрытия акватории СЛО базовыми метеорологическими наблюдениями в период проекта Всемирной метеорологической организации (ВМО) «Год полярного прогнозирования» (ГПП, <https://www.polarprediction.net/>) путем целевой расстановки дрейфующих буев в морях Евразийской Арктики. Осуществление работы выполнялось в рамках грантового соглашения между ФГБУ «АНИИ», ВМО и EUMETNET (консорциума Европейских метеорологических служб — <https://www.eumetnet.eu/>) в сотрудничестве с Международной программой арктических буев (МПАБ)/Университетом штата Вашингтон США (<https://iabp.apl.uw.edu/>).

Необходимость расстановки иллюстрируется рис. 1а, из которого следует, что к периоду выполнения ГПП плотность синоптических наблюдений в морях Российской Арктики достигла недопустимо низких значений. Основным подходом, принятым для устранения данной лакуны в наблюдениях, явилась расстановка лагранжевых буев ООО Марлин-Юг (<https://marlin-yug.com/>)

типа SVP-B/40H в морях Баренцевом, Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском в центрах 500 км окружностей согласно требованию ВМО к базовой сети опорных наблюдений (рис. 1б), используя попутные экспедиции АНИИ.

Все использованные буи принадлежат к одному и тому же типу — дрейфующий поверхностный лагранжевый буй SVP-B/40H (Поверхностные дрейфующие лагранжевые буи производства ООО «Марлин-Юг» — [https://marlin-yug.com/ru/products/poverxnostnyie\\_drejfuyushhie\\_lagranzhevyye\\_bui/](https://marlin-yug.com/ru/products/poverxnostnyie_drejfuyushhie_lagranzhevyye_bui/)) с или без подводного паруса со следующим комплектом датчиков: положение (НАВСТАР/ГЛОНАСС/Аргос), давление на уровне моря, температура поверхности (лед, снег или вода в зависимости от положения буя) и температура воздуха (опционно). Продолжительность работы, заявляемая производителем, — до 12 месяцев в зависимости от негативных воздействий. Передача данных буев выполнялась ежедневно в Глобальную систему телесвязи (ГСТ) ВМО через систему Аргос (<https://argos-system.cls.fr>).

Итоговые районы постановки 33 буев за период март 2018 года — октябрь 2020 года представлены на рис. 2. Наиболее трудоемкими являлись постановки буев на лед вертолетами Ми-8 и Ка-32 в период экспедиций

Рис. 1. Положение дрейфующих метеорологических буев в марте 2018 года (а) и проект расстановки буев в морях Евразийской Арктики (б)

