

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_2 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_2 , 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/>).

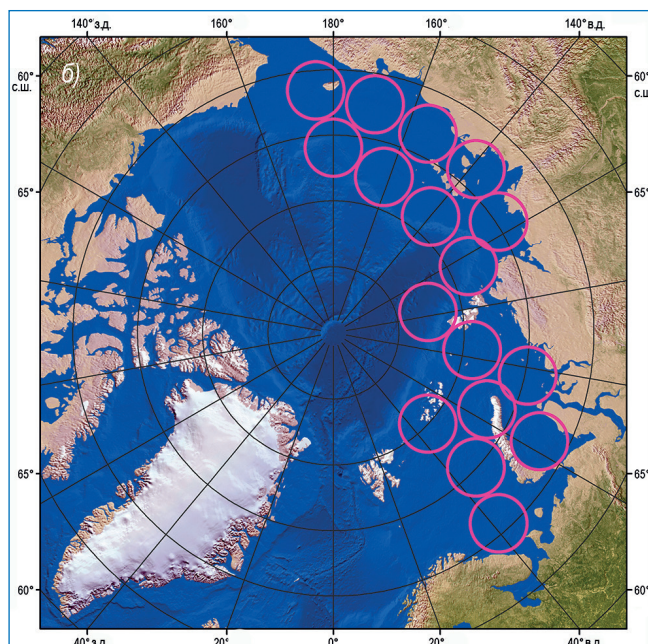
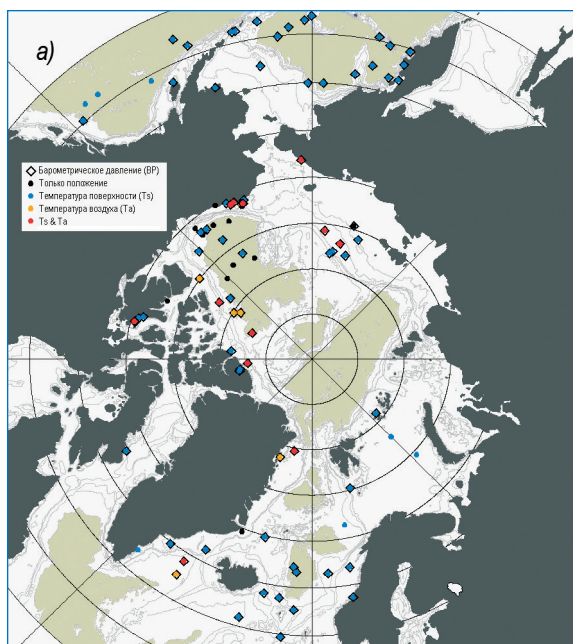
Необходимость расстановки иллюстрируется рис. 1а, из которого следует, что к периоду выполнения ГПП плотность синоптических наблюдений в морях Российской Арктики достигла недопустимо низких значений. Основным подходом, принятым для устранения данной лакуны в наблюдениях, явилась расстановка лагранжевых 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/) 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)



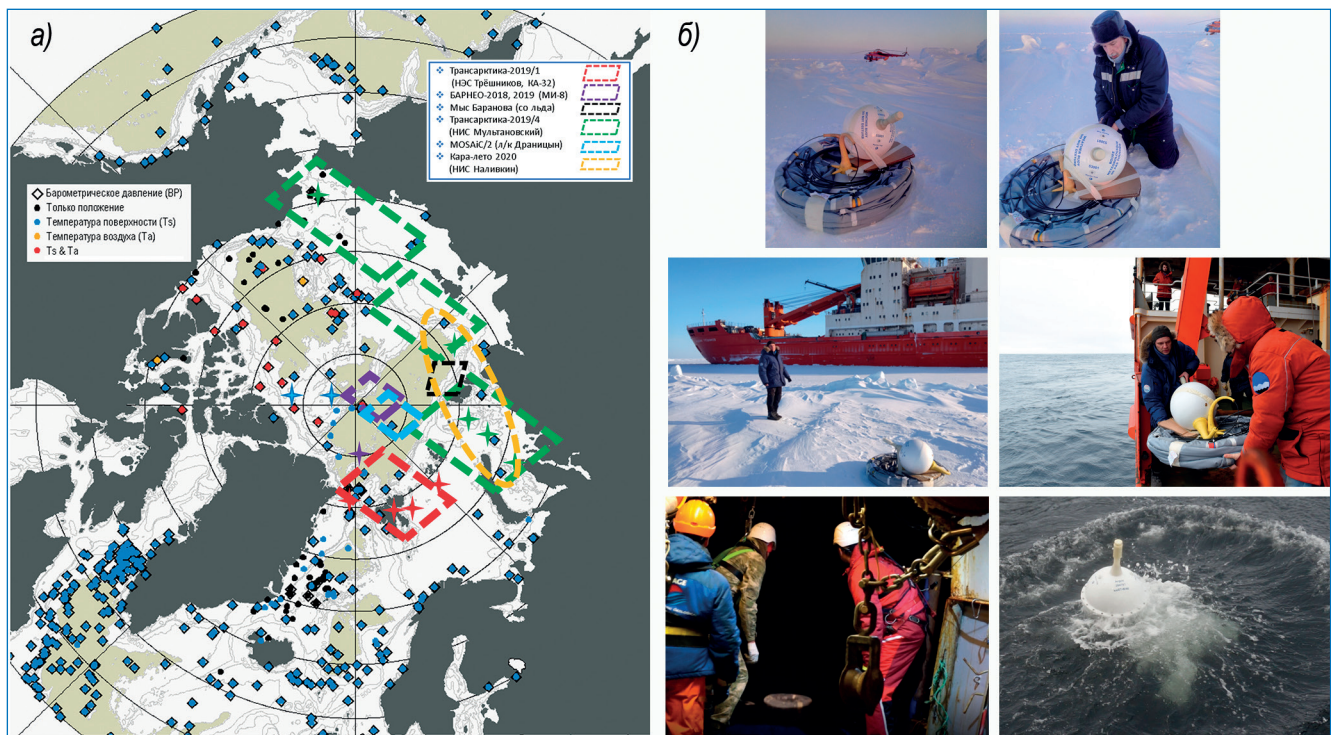


Рис. 2. Места (а) и фото (б) постановок буйев в марте 2018 года – октябре 2020 года

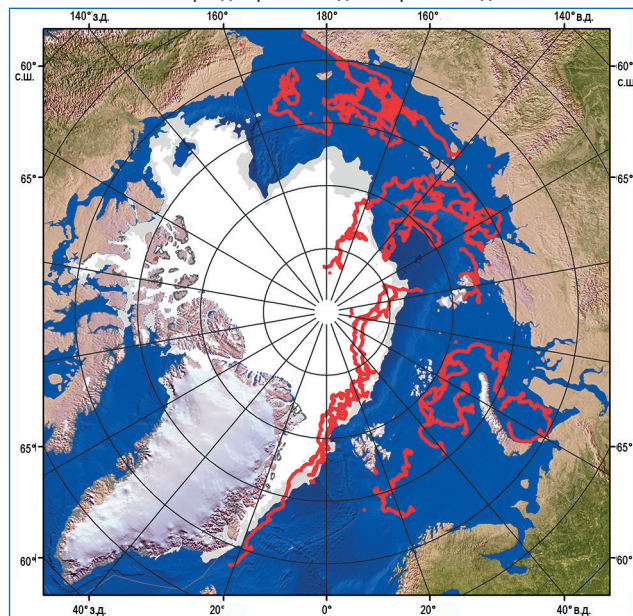
БАРНЕО-2018, 2019 и Трансарктика-2019 (1 этап) и с борта л/к «Капитан Драницын» на лед в период 2-го этапа экспедиции MOSAIC. Менее трудоемкими явились постановки с борта НЭС «Академик Трёшников», НИС «Профессор Мультановский» и «Геолог Дмитрий Наливкин» на воду в период 1 и 4-го этапа экспедиции Трансарктика-2019 и «Кара-лето 2020». Наиболее простыми закономерно являлись постановки на лед в период стоянки НЭС «Академик Трёшников» и со станции «Мыс Баранова».

Итоговые траектории выставленных буйев за период по март 2021 года представлены на рис. 3. Анализ рисунка показывает достаточно хорошее итоговое покрытие морей восточного сектора Арктики с несколько худшим покрытием Карского и Баренцева морей. Интересные географические детали включают широтные дрейфы буйев в Чукотском и Восточно-Сибирском морях, круговороты дрейфа в Баренцевом и Карском морях. Наибольшее время функционирования на воде и льду в 431 и 419 суток отмечено для буйев, попавших в круговороты в Чукотском и Восточно-Сибирском морях и успешно переживших периоды замерзания и таяния льда. Максимальное время функционирования в 539 суток (на 15.03.2021 г. буй продолжает работать) отмечено для буйа со смешанным режимом работы — в течение двух недель дрейфовавшего в западной части моря Лаптевых и далее выброшенного волнами на берег Таймырского полуострова. Следует от-

метить, что аналогичный по длительности режим работы в 503 дня также отмечен у буйа, в течение 6 месяцев дрейфовавшего в Арктическом бассейне и Баренцевом море и выброшенного на берег у м. Южный острова Западный Шпицберген. Максимальная продолжительность работы для буйа, продрейфовавшего из северной части моря Лаптевых в пролив Фрама, составила 369 суток. Наименьшая продолжительность работы — 2 суток — отмечена для буйа на чистой воде в северо-восточной части Карского моря, прекратившего функционирование по неустановленной ни АНИИ, ни разработчиком (ООО «МарлинЮг») причине.

Средняя (на март 2021 года) продолжительность работы буйев АНИИ составило 199 суток, что сопоставимо с другими буйами МПАБ. Согласно накопленному АНИИ опыту, время жизни определяется в основном способностью буйа пережить процесс попадания под лед (исходя из показаний датчика заныривания) при процессах замерзания, приближения к кромке и таяния. Наличие или отсутствие подводного паруса как фактора демпфирования/усиления ударов о лед с одновременным увеличением/уменьшением вероятности затаскивания буйа под лед остается неясным фактором для времени функционирования и нерешенной проблемой. Также нерешенными проблемами остаются обмерзание датчика давления и стабилизация показаний датчика температуры воздуха.

Рис. 3. Траектории буйев, выставленных АНИИ за период март 2018 года – март 2021 года



a) Индекс станции ВМО 2501543										
Дата	Источник	Код	Центр	Широта	Долгота	N набл.	GE	Разн.	Дисп.	СКО
20200831	ALL	B	ЕСНWF	82.9	19.5	744	0	-0.3	0.4	0.5
20200831	LFVW	U	СНН	83.4	10.2	744	0	0.0	0.4	0.4
20200930	ALL	B	ЕСНWF	83.4	10.2	574	0	-0.4	0.4	0.5
20200930	LFVW	U	СНН	81.4	1.5	579	0	-0.1	0.4	0.4
20201031	ALL	B	ЕСНWF	81.4	1.5	745	1	-0.3	0.3	0.5
20201031	LFVW	U	СНН	78.7	-1.1	745	1	0.1	0.4	0.4
20201109	LFVW	U	СНН	76.5	-4.4	155	0	-0.3	0.5	0.6
20201130	ALL	B	ЕСНWF	78.7	-1.0	158	0	-0.4	0.7	0.8

Последнее положение: 76.5 -4.4

б) Индекс станции ВМО 4601598										
Дата	Источник	Код	Центр	Широта	Долгота	N набл.	GE	Разн.	Дисп.	СКО
20200831	ALL	B	ЕСНWF	54.8	-139.5	743	0	1.0	0.5	1.1
20200831	KWBC	U	СНН	56.9	-136.3	743	0	0.7	0.6	0.9
20200930	ALL	B	ЕСНWF	56.9	-136.3	720	0	1.0	0.5	1.2
20200930	KWBC	U	СНН	60.0	-143.1	720	0	0.8	0.5	1.0
20201016	KWBC	U	СНН	60.1	-143.4	383	191	0.1	4.2	4.2
20201031	ALL	B	ЕСНWF	60.0	-143.1	385	122	-0.7	7.2	7.3

Последнее положение: 60.1 -143.4

Рис. 4. Средние за месяц разности показаний (средняя разность, дисперсия, среднеквадратическое отклонение) приземного давления в период с августа по ноябрь 2020 года для буя ААНИИ (а), буя NOAA США (б) и численными реанализами EUMETNET–NOAA

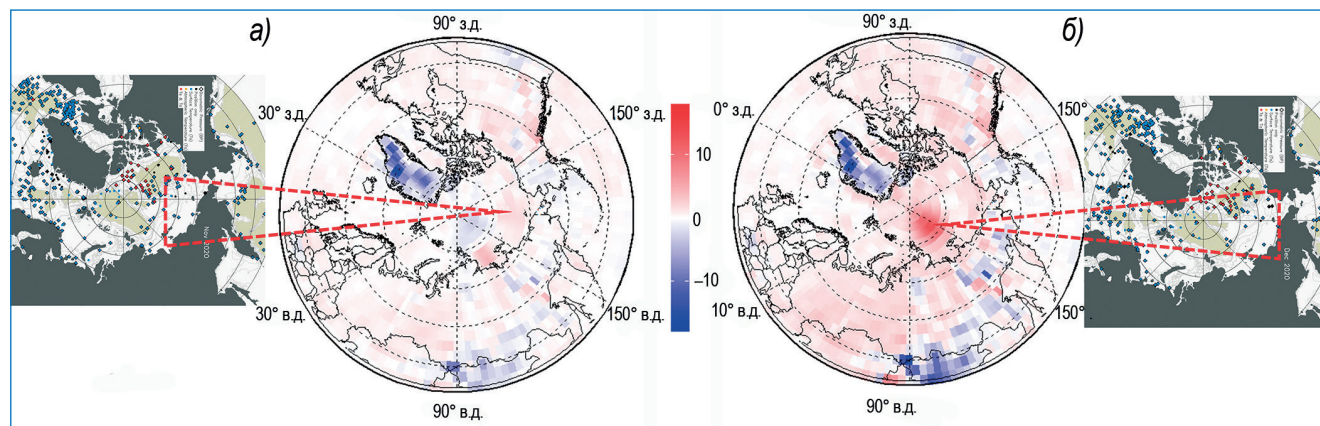
Доступ к данным буев возможен через ГСТ ВМО (оперативные данные в формате BUFR), архив МПАБ (https://iabp.apl.uw.edu/maps_daily_table.html) и архив МЦД МЛ ААНИИ (<http://wdc.aari.ru/datasets/d0018/YOPP/>).

Насколько правилен выбор ААНИИ буев типа SVP-В/40Н производства «Марлин-Юг» и насколько точны их показания при их функционировании в открытом море без возможности калибровки с эталонными измерителями? В настоящий момент общепринятым методом решения данного вопроса является сравнение данных показаний буев с данными численных моделей. Сравнение возможно через специальный веб-портал Метео-Франс — EUMETNET (<http://esurfmar.meteo.fr/qctools/>), показывающий ряд статистик — среднее, среднеквадратическое отклонение показаний отдельных датчиков буев относительно отдельных численных реанализов или их совокупности. Данные статистики формируются автоматически и используются в метеорологических центрах анализа и прогноза погоды для определения нахождения буя (или иного пункта опорных наземных наблюдений) в «белом» (данные ассимилируются), «сером» (данные поставлены в автоматическую очередь до момента получения качественных наблюдений) или «черном» (данные отбраковываются, не ассимилируются) списках ассимиляции данных. Пример подобного сравнения, приведенный на рис. 4, показывает сравнимые значения дисперсии показаний приземного давления воздуха для буя ААНИИ и буя NOAA США, что свидетельствует о допустимости выбора «Марлин-Юг» как производителя оборудования. Естественно, что зафиксированные дисперсии показаний датчика температуры воздуха в большинстве случаев значимо выше, чем для давления воздуха. Однако следует отметить, что в любом случае принятая в метеорологических центрах методика критического контроля и отбраковки не позволяет ассимиляцию подобных показаний.

Другим важным вопросом является оценка влияния выставленных ААНИИ буев на точность численного анализа и реанализа метеорологических полей. Принятым методическим подходом для решения данного вопроса является проведение специальных численных экспериментов с отбросом данных (data denial). Выполнение и анализ результатов указанных экспериментов является одной из главных задач проекта ГПП, решаемых до настоящего времени. Частичный ответ на данный вопрос может быть получен путем сравнения разностей между различными реанализами при различной густоте сети опорных наблюдений. Качественное сравнение разностей реанализов ERA5 и NCEP/NCAR, представленных на рис. 5 для ноября 2020 года, когда наблюдалась максимальная на 2020 год плотность сети буев в морях Карском и Лаптевых, и декабря 2020 года, когда большая часть буев прекратила функционирование, показывает, что уменьшение плотности сети вызвало резкое увеличение разности реанализа давления на уровне моря. Этот достаточно тривиальный вывод показывает важность данной работы.

Таким образом, в период 2018–2020 годов ААНИИ выполнены работы по восполнению в Евразийской Арктике сети опорных метеорологических наблюдений для целей и задач проекта ВМО «Год полярного прогнозирования» на основе попутных экспедиций и метеобуев типа SVP-В производства «Марлин-Юг» (г. Севастополь) с передачей данных в сеть ГСТ ВМО. Сроки функционирования буев, погрешности их показаний сопоставимы с характеристиками других национальных систем буйковых измерений. Продолжение работ в 2021 году может быть основано на использовании имеющегося резерва из 10 буев, планируемых попутных экспедиций и сложившейся инициативной логистики. Вместе с тем для дальнейшего оптимального выполнения работ требуется формирование группы специалистов ААНИИ по буям (или более широко — по компоненту сети автоматических наблюдений Росгидромета открытого моря). Задачи, решаемые группой, безусловно

Рис. 5. Разности значений реанализа давления на уровне моря ERA5 и NCEP/NCAR в ноябре (а) и декабре (б) 2020 года



должны включать оптимизацию логистики поставки и постановки буев (в том числе «управляемой» в зависимости от природных условий), постоянный контроль качества измерений и выявление причин потери работоспособности, внедрение новых типов буев (с усиленным корпусом, расширенным набором датчиков), самостоятельную поддерж-

ку оперативной обработки данных и их включение в сеть Росгидромета и ГСТ ВМО, наконец, поддержку интерфейса работы с пользователями и геопортал данных.

*В.М. Смоляницкий, Т.В. Петровский,
К.Г. Смирнов, В.Т. Соколов (АНИИ)*

АРКТИЧЕСКАЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ. КОММЕНТАРИИ К КОНЦЕПЦИИ

В рамках темы 5.1.4 «Мониторинг состояния и загрязнения природной среды, включая криосферу, в Арктическом бассейне и районах научно-исследовательского стационара «Ледовая база Мыс Баранова», гидрометеорологической обсерватории Тикси и Российского научного центра на архипелаге Шпицберген» НИТР Росгидромета подготовлена «Концепция Арктической пространственно-распределенной обсерватории», объединяющей научно-исследовательский стационар «Ледовая база Мыс Баранова», Российский научный центр на архипелаге Шпицберген, гидрометеорологическую обсерваторию Тикси и, в перспективе, ледостойкую самодвижущуюся платформу «Северный полюс». В статье комментируются положения «Концепции...», обосновывается целесообразность интеграции обсерваторий ФГБУ «АНИИ» в рамках распределенной структуры, рассматриваются перспективы реализации интеграционного подхода к организации комплексного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды.

Предпосылки создания Арктической пространственно-распределенной обсерватории

Качественное освещение и прогнозирование гидрометеорологической обстановки в Арктическом регионе требует развития и усовершенствования существующей системы постоянного действующего мониторинга состояния ее элементов. Система мониторинга должна удовлетворять следующим требованиям: репрезентативность, регулярность, комплексность и системность наблюдений. Если иметь в виду репрезентативность, невозможно игнорировать пространственную «распределенность» наблюдаемых параметров. Насколько се-

рьезные ошибки возникают при восстановлении значений характеристик окружающей среды в узлы расчетных сеток вследствие наличия «белых пятен» сетевого покрытия при производстве наблюдений, показано в работах (Makshtas A.P., Atkinson D., Kulakov M., Shutilin S., Krishfield R., Proshutinsky A. Atmospheric forcing validation for modeling the central Arctic // Geophysical Research Letters. 2007. V. 34. doi: 10.1029/2007 GL031378; Демчев Д.М., Кулаков М.Ю., Макштас А.П., Махотина И.А., Фильчук К.В., Фролов И.Е. Верификация данных реанализов ERA-Interim и ERA5 о приповерхностной температуре воздуха в Арктике // Метеорология и гидрология. 2020. № 11. С. 36–45). На рис. 1 слева графически представлена разность средних за холодный сезон 2008 года значений температуры воздуха по данным реанализов ERA-Interim и ERA5. Как видно, в центральной части Арктического бассейна разница достигает значений в 4 °С. Причина — отсутствие в данном районе регулярной сети наблюдений и недостаток эмпирических данных, которые могли бы быть ассимилированы при восстановлении полей методами реанализа. Некорректный реанализ, вводимый в качестве «разгоняющих» форсингов, равно как и фрагментарная ассимиляция, — очевидные причины ненадежного модельного прогнозирования и, как следствие, снижения уровня оправдываемости гидрометеорологических прогнозов. Как с этим бороться? Бороться с этим можно единственным способом — консолидируя усилия по развитию интегрированных сетей наблюдений и создавая интернациональные структуры с целью развития обсервационных платформ, адекватных изучаемым процессам. На рис. 1 справа представлена схема расста-

Рис. 1. Разность средних за холодный сезон 2008 года значений температуры воздуха (°С) по данным реанализов ERA-Interim и ERA5 (слева) и схема развертывания группировки наблюдательных платформ в рамках YOOP (справа)

