

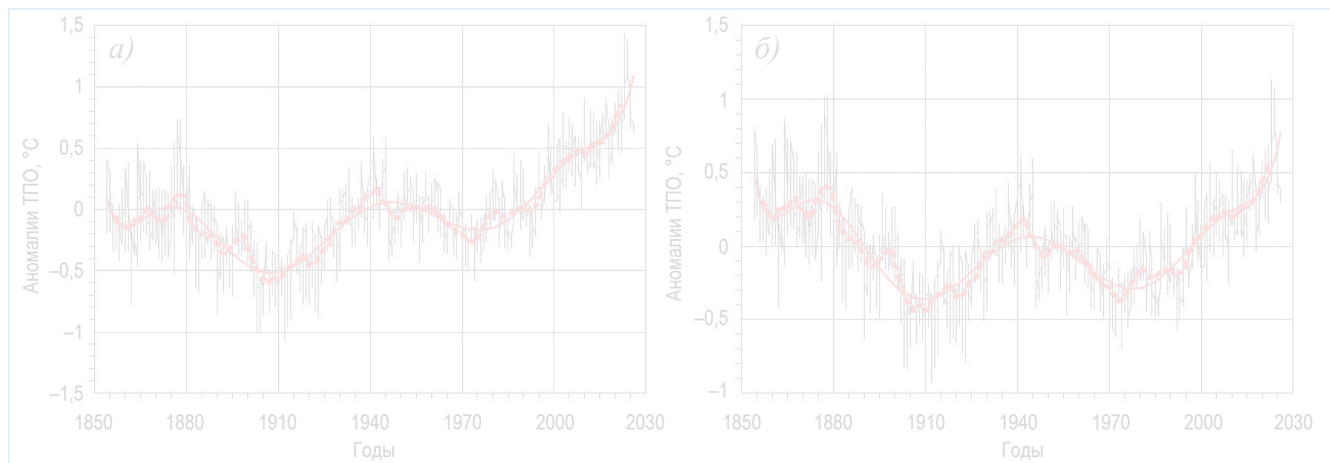


Рис. 6. Среднемесячные значения индекса АМО по данным ersst.v5.amo_1854-2026 (ТПО — температура поверхности океана): а — исходные данные; б — с исключенным трендом.
Пунктир — сглаженные скользящим осреднением по 7 лет, сплошная кривая — аппроксимация полиномом 5-й степени

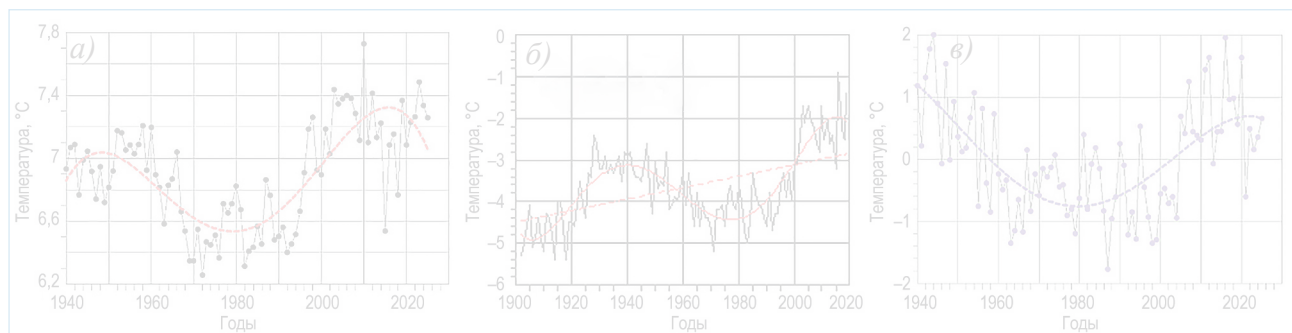


Рис. 7. Изменения среднегодовой температуры воздуха над Северной Атлантикой (а), Северным Ледовитым океаном (б) и Арктическим бассейном (в).
На б: черная кривая — полином 7-й степени, красная кривая — полином 5-й степени, пунктир — тренд

обеспечить прогноз климатических изменений на долгий срок. Обнадешивающим может быть вклад изменений температуры поверхности океана в тропической области Северной Атлантики в изменчивость АМО. В свою очередь, эти изменения конгруэнтны росту инсоляции низких широт и регулярным составляющим в светимости Солнца (TSI). Исследования в этом направлении в настоящее время проводятся в ААНИИ.

В заключении доклада отмечено, что изменения климата в Северной Атлантике и Арктическом бассейне согласованы при ведущей роли Северной Атлантики и Ат-

лантического междесятилетнего колебания, при этом аномалии выноса пресной воды и морского льда из Арктического бассейна в ответ на воздействия из Северной Атлантики усиливают отрицательную фазу АМО и похолодание в обоих бассейнах. Океанографические наблюдения за состоянием слоя АВ в Арктическом бассейне отражают изменения Атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции, а максимальная температура АВ может служить индикатором ее состояния.

Г.В. Алексеев (ААНИИ)

ОЦЕНКА ИСПАРЕНИЯ В ЗАПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ РОССИИ ПО ВОДНОИСПАРИТЕЛЬНОЙ СЕТИ РОСГИДРОМЕТА

Изучение компонентов водного баланса в Арктике является критически важным для понимания текущих климатических изменений, однако процессы испарения с водной поверхности в высоких широтах остаются наименее изученными. Несмотря на общеизвестный тренд потепления климата, наблюдается феномен «парадокса испарения», заключающийся в снижении этого показателя на фоне роста температур, что требует верификации на региональных данных. Настоящее исследование посвящено анализу многолетней динамики испарения на водноиспарительных площадках заполярной области России.

Использованы архивные данные всех функционирующих станций, где измерения проводились с при-

менением водного испарителя ГГИ-3000. К перечню водноиспарительных площадок относятся: Туманная, Умба, Зареченск, Каневка, Апатиты (Мурманская область), Салехард (Ямало-Ненецкий автономный округ, р. Обь), Туруханск (Красноярский край, р. Енисей), Жиганск, Верхоянск, Среднеколымск (Республика Саха (Якутия), р. Лена, Яна, Колыма), Омолон и Островное (Чукотский АО). Данные наблюдений охватывают период с 1955–1975 годов по 2021–2025 годы.

Для комплексного анализа величин испарения в работе использовались данные двух продуктов глобального реанализа и спутникового дистанционного зондирования: GLEAM (с пространственным разрешением 0,25° и временным охватом с 1980 года по настоящее время)

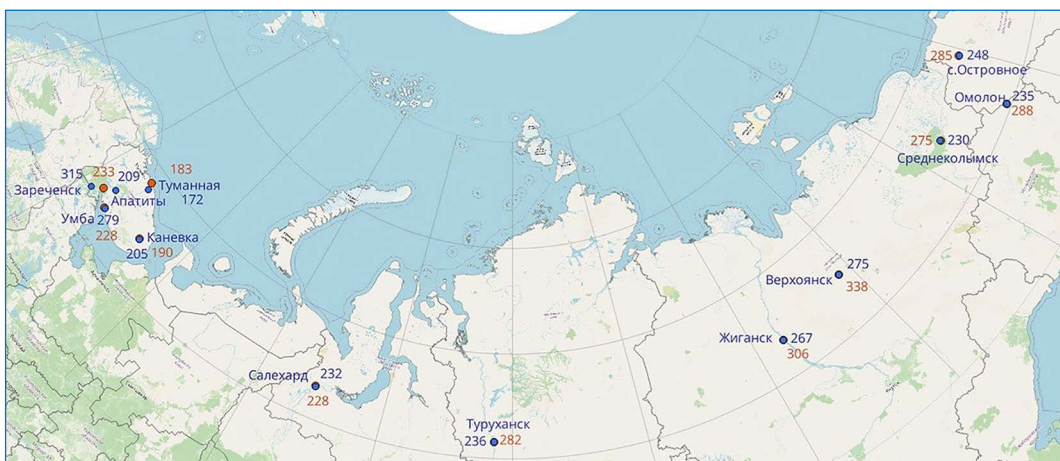


Рис. 1. Водноиспарительные площадки в заполярной области России и среднемесячные значения испарения за теплый сезон (июнь–сентябрь): синим — наблюдаемые по данным водноиспарительных площадок, красным — расчетные по методу Н.Н. Иванова

и ERA5-Land (с высоким пространственным разрешением 0,1° и временным охватом с 1950 года).

Для получения величин испарения с водной поверхности за теплый период была использована эмпирическая формула Н.Н. Иванова, связывающая испарение с открытой водной поверхности (за месяц в миллиметрах

слоя воды) со средней месячной температурой воздуха и относительной влажностью воздуха:

$$E_0 = 0,0018 \cdot (25 + T)^2 \cdot (100 - f),$$

где E_0 — испарение с открытой водной поверхности, мм; T — средняя месячная температура воздуха, °C; f — средняя месячная относительная влажность воздуха, %.

Трендовый анализ выявил статистически значимое снижение испарения в регионе в целом — в среднем на 0,38 мм в год. При этом по отдельным площадкам значимый тренд зафиксирован только на Каневке. Разделение на периоды до и после 1992 года показало смену

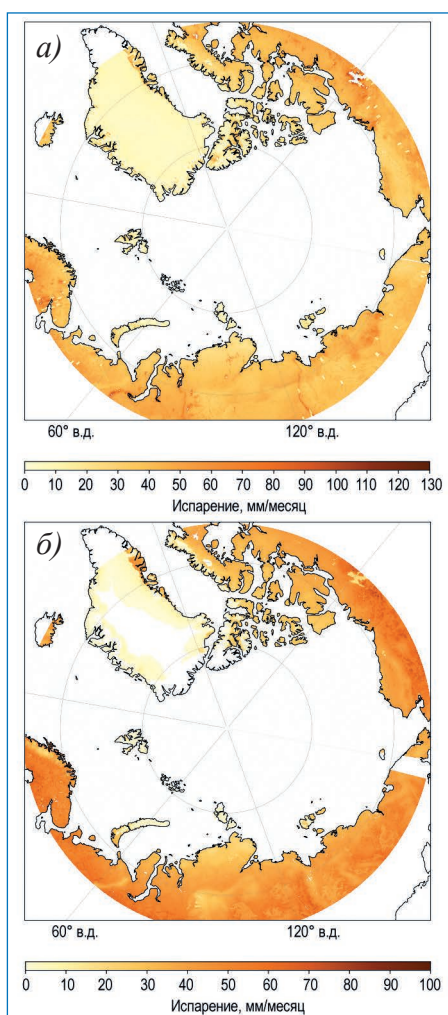


Рис. 2. Пространственное распределение испарения (мм/месяц) по данным GLEAM (а) и ERA5-Land (б), май 1984 года (> 65° с. ш.)

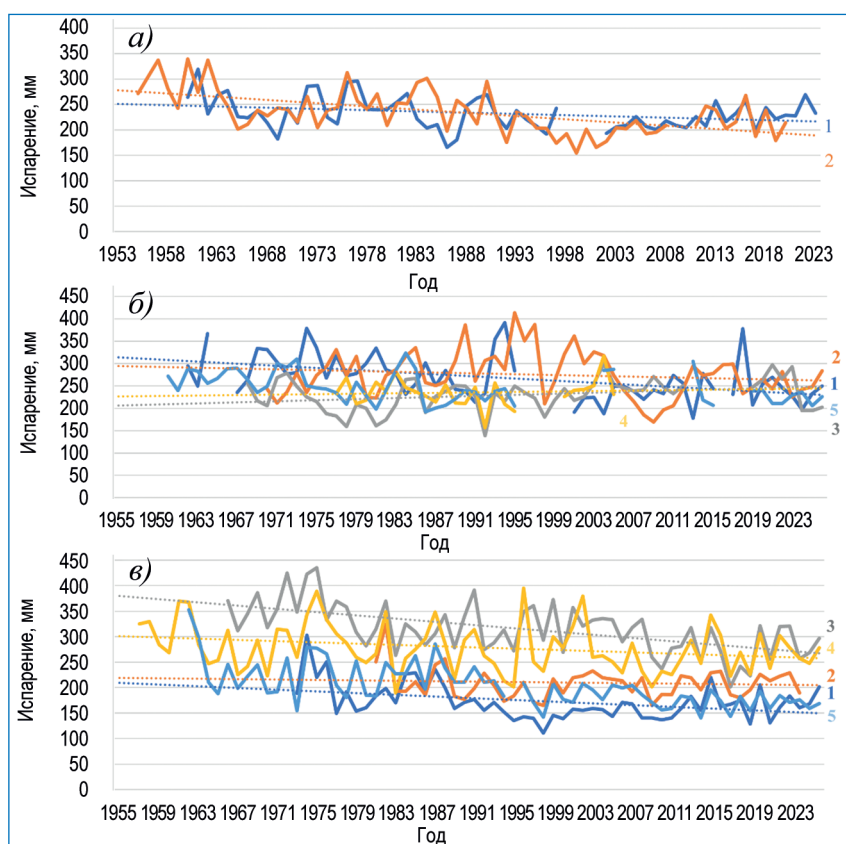


Рис. 3. Суммарное испарение за теплый период: а — Западная и Восточная Сибирь (1 — Салехард, 2 — Туруханск); б — Дальний Восток (1 — Жиганск, 2 — Верхоянск, 3 — Среднеколымск, 4 — Оймякон, 5 — Островное); в — север Европейской части России (1 — Туманная, 2 — Апатиты, 3 — Зареченск, 4 — Умба, 5 — Каневка)

Таблица

**Значения коэффициентов корреляции,
вычисленные разными методами определения испарения**

Станция	Метод		
	Н.Н. Иванова	ERA5	GLEAM
Туманная	0,54	0,84	0,25
Апатиты	0,89	0,82	0,91
Зареченск	0,92	0,86	0,94
Умба	0,91	0,77	–
Каневка	0,86	0,81	0,80
Салехард	0,83	0,87	0,94
Туруханск	0,84	0,57	0,90
Жиганск	0,84	0,70	0,80
Верхоянск	0,91	0,63	0,70
Среднеколымск	0,93	0,89	0,39
Омолон	0,89	0,87	0,89
Островное	0,92	0,84	0,81

режима: в раннем периоде отрицательные тренды были сильными и согласованными, а после 1993 года тренды стали слабыми и разнонаправленными, ни один из них не значим. Тем не менее за весь период в целом отрицательный тренд остается значимым, что указывает на долговременное снижение испарения в российском Заполярье.

Метод Н.Н. Иванова характеризуется исключительно высокой и стабильной корреляцией с наблюдаемыми значениями на всех без исключения площадках. Коэффициенты корреляции для этого метода варьируются в узком диапазоне от 0,83 до 0,93, причем большинство значений превышает 0,88. Даже минимальный показатель (0,83 на площадке в Салехарде) остается на очень высоком уровне, что говорит о надежности метода в лю-

бых условиях. На таких площадках, как Среднеколымск и Островное, корреляция достигает 0,92–0,93.

Метод ERA5 показывает менее стабильные результаты. При достаточно высоких значениях на ряде площадок (например, в Среднеколымске (0,89) и Омолоне (0,87)) он дает неудовлетворительные результаты в Туруханске (0,57) и Верхоянске (0,63). Это указывает на то, что метод чувствителен к местным условиям и не всегда обеспечивает приемлемую точность, особенно в континентальных или экстремальных климатических зонах.

Метод GLEAM показал более низкую эффективность. На ряде станций метод показывает высокую корреляцию (например, 0,94 в Зареченске и Салехарде, 0,91 в Апатитах), но на площадке Туманная корреляция падает до 0,248, оценка испарения по GLEAM оказывается существенно заниженной из-за того, что в расчетный пиксель продукта GLEAM с разрешением 0,25° попадает часть акватории моря. Аналогично низкий показатель (0,385) зафиксирован на Среднеколымске. Применение продукта GLEAM требует предварительной верификации на конкретной территории ввиду его высокой чувствительности к ландшафтным условиям (таблица).

Полученные в ходе работ результаты позволяют рекомендовать для оценки испарения в заполярной области метод Н.Н. Иванова, так как он единственный из трех рассматриваемых методов обеспечивает одновременно высокую точность и стабильность на всем диапазоне площадок. ERA5 может рассматриваться как альтернатива при условии отсутствия требований к максимальной надежности, а GLEAM рекомендуется только в тех случаях, когда его применимость для конкретного региона подтверждена независимыми данными.

*А.Д. Журавлева, С.А. Иванова, Л.С. Курочкина
(ФГБУ «Государственный гидрологический институт»)*

ТЕНДЕНЦИИ ВАРИАЦИЙ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ В АРКТИКЕ ЗА 2003–2025 ГОДЫ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МИССИИ GRACE)

Оценка ускорения свободного падения (далее УСП) на земной поверхности зависит от геодинамических процессов, географического положения, расположения Земли, Луны и Солнца, угловой скорости вращения Земли, синоптических процессов, льдов, климата и др.

Мониторинг изменений УСП в пределах Арктики охватывает широкий спектр задач: от оценки точности глобальных моделей геопотенциала до практических аспектов проведения высокоточных морских и аэрогравиметрических съемок в экстремальных полярных условиях, связи характеристик гравитационных аномалий с погодой (Макоско А.А., Ярошевич М.И. Оценки регрессионных связей характеристик тропических циклонов и аномалий силы тяжести // Известия РАН. Серия «Физика атмосферы и океана». Т. 52. № 3. С. 267–271), льдами, климатом. Модель гравитации Земли EGM2008 (Earth Gravitational Model 2008), благодаря космическим съемкам, почти на порядок улучшила разрешение по сравнению с EGM96, но для нее полярные регионы остаются проблемными.

Можно расширить эти исследования анализом космических измерений характеристик гравитационных аномалий (ХГА) по проектам GRACE/GRACE FO (NASA и Аэрокосмический центр Германии).

Данные космических измерений, характеризующие изменения гравитационного поля Земли, представлены в свободном доступе, но преобразованы в эквивалентные изменения поверхностной массы и представлены в виде безразмерного показателя гравитации (далее БПГ), вычисляемого как отношение измеренного изменения характеристики этого поля к значению, создаваемому массой слоя воды толщиной 1 см. Поэтому распределение в той или иной зоне нашей планеты значений БПГ качественно соответствует распределению в ней УСП. Значения указанного показателя представлены в базе данных для каждого месяца из периода 2003–2025 годов для всех узлов координатной сетки Меркатора с шагом 0,25° (интерполяция в узлы регулярной сетки сферическими функциями).

Анализ данных измерений показал, что ХГА, которые выявлены по космическим измерениям в северной полярной шапке до примерно 83 градуса широты, свойственна значимая межгодовая изменчивость. При этом их внутригодовая изменчивость существенной не является.

При выборе методики исследования как характеристика тенденции изменений БПГ над некоторым пунктом земной поверхности рассматривалось значение углового