

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата географических наук Сумкиной Александры Андреевны
на тему: «Взаимосвязь современных изменений ледовитости Баренцева
морья, гидрологической структуры вод и процессов взаимодействия морья
и атмосферы» по специальности 1.6.17. Океанология

Баренцево море – одно из наиболее исследуемых морей России с богатой историей океанографических наблюдений, проводимых российскими учёными с начала 20 столетия. Среди них уникальная серия почти непрерывных 125-летних наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» (Бочков, 1982; Карсаков, 2009). Обобщение накопленных наблюдений выполнялось в коллективных монографиях «Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т. 6. Баренцево море». Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 264 с., «Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море». Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 280 с. Исследованиями Баренцева моря занимаются учёные из многих российских НИУ. в том числе из расположенных на побережье моря, в Мурманске – Мурманском морском биологический институте и Полярном филиале ВНИРО.

Одной из научных проблем, привлекающих особое внимание, является сокращение площади льда и потепление климата Баренцева моря, которое связано с увеличением поступления атлантической воды (АВ). Впервые об этом написал В.Ю. Визе (1937), изучавший первое потепление Арктики непосредственно в период его развития. На тесную связь между притоком АВ и распространением морского льда в конце зимы в Гренландском и Баренцевом морях указано также в работах В.Ф. Захарова (1978, 1996) и Е.У. Миронова (2004)

Эксперименты с глобальной моделью климата (Sandø et al., 2014) подтвердили, что увеличение поступления АВ в Баренцево море оказывает

сильное влияние на площадь морского льда (ПМЛ) в результате сокращения ледообразования и что океан влияет на изменения массы льда сильнее атмосферы, как на среднее значение, так и на изменчивость. Поэтому попытки найти устойчивые связи между крупномасштабными модами атмосферной циркуляции, такими как Северо-Атлантическое колебание или Арктическая осцилляция и площадью морского льда в Баренцевом море, не привели к успеху (Smedsrud et al., 2013; Semenov et al., 2015).

Анализ данных наблюдений на «Кольском меридиане» подтвердил (Алексеев и др., 2016), что изменения притока атлантической воды определяют основную часть межгодовой изменчивости площади льда, температуры воды и температуры воздуха в Баренцевом море в холодную часть года. Тем не менее, отсутствовали количественные оценки притока тепла с АВ и вклада АВ в формирование температуры и солёности верхнего слоя и морского льда на его поверхности. А.А. Сумкина взялась за решение этой актуальной задачи – количественно оценить относительные вклады процессов на границе «море–атмосфера» и притока АВ в сезонную и межгодовую изменчивость термохалинных параметров ВКС, определяющих внутригодовую и межгодовую динамику ледяного покрова в различных районах Баренцева моря.

На этом пути диссертантке необходимо было решить ряд методических задач для выполнения расчётов притоков и стоков тела, выбора репрезентативных показателей их влияния на ВКС, реализации методов классификации. В Главе 1 выполнен краткий обзор исследований по теме диссертации. Здесь диссертантка касается проблемы «атлантификации» Баренцева моря, которую в 1930-е годы связывали с ростом поступления АВ. Она повторяет утверждение, что повышение температуры и солёности в БМ отмечается с середины 2000-х гг. в связи с общим сокращением объема морского льда в Северном Ледовитом океане (СЛО) и уменьшением объема талой воды, смешивающейся с АВ, сопровождающего увеличение температуры и солёности ВКС [Lind et al., 2018]. С таким утверждением

трудно согласиться, поскольку сокращение объема льда происходило при усилении таяния и сопровождалось увеличением объёма талой воды в СЛО, где она накапливалась в круговороте моря Бофорта над Канадской котловиной. И, во-вторых, в этот период увеличивался приток АВ в Баренцево море и в Арктический бассейн. Полагая, что необходимой предпосылкой возрастания интенсивности зимней конвекции в БМ стало сокращение площади и толщины морского льда, цитируемые, авторы не называют причину сокращения, на самом деле вызванного притоком АВ, а не сокращением притока талой воды.

В Главе 2 представлены разработанный алгоритм расчета даты полного освобождения ото льда, реализованные алгоритмы расчёта адвекции тепла через разрезы, кластерного анализа методом HDBSCAN и описаны данные, на основе которых проводились исследования.

В Главе 3 исследуется пространственно-временная изменчивость ледового режима Баренцева моря и факторов, ее определяющих. Выполнены расчеты изменений сплоченности и протяженности ледяного покрова, а также оценена продолжительность временных интервалов, когда ледяной покров полностью отсутствовал. По датам полного очищения ото льда проведено районирование Баренцева моря методом кластерного анализа. Выполнены оценки коэффициента линейного тренда сплоченности в разных районах моря. Максимальный тренд отмечен в северо-восточной части моря, где в последнее десятилетие возросла адвекция АВ. Районирование по датам полного очищения (ДПО) ото льда выделило 6 районов, в каждом наблюдается тренд на более ранние ДПО. Оценка переноса тепла через разрез 1 (о. Медвежий – м. Нордкап) показала практически полностью определяющий вклад в тепловой бюджет Баренцева моря. Максимум поступления адвективного тепла наблюдается в январе и в среднем составляет 122 ТВт, а минимум в июле – 70 ТВт. В январе также наблюдается максимальный тренд для потока тепла (1,2 ТВт в год) и потока соли. Согласно расчетам, средний годовой тепловой баланс (ТБ) на поверхности за

1993–2018 гг. отрицателен на всей акватории, причём потери тепла на поверхности растут, и этот рост в холодный период связан не с увеличением нагрева в теплый период, а с изменением разности температур воды и воздуха и, главным образом, с ростом температуры воды.

В Главе 4 «Изменения параметров ледового режима и верхнего квазиоднородного слоя Баренцева моря в 21 веке» предпринята попытка количественно оценить вклады процессов адвекции тепла и соли и взаимодействия с атмосферой. Рассмотрено влияние этих процессов на ДПО. Установлено, что ДПО в районах на пути распространения АВ положительно коррелированы с потоком АВ через разрез Нордкап–Медвежий. Найдена и положительная корреляция между ДПО и теплоотдачей, которая говорит о том, что чем больше теплоотдача с поверхности моря, тем раньше сойдет лед в результате усиления и заглубления конвекции, достигающей теплого слоя АВ. Оценки изменчивости толщины, температуры и солёности ВКС под влиянием процессов адвекции и теплоотдачи с поверхности показали, что вклад процессов зависит от сезона и меняется от района к району. В холодный сезон вклад адвекции в осолонение ВКС полностью доминирует (58% в среднем по всем районам). Вклад ледообразования в среднем по всем районам составляет 18%: наибольший в районе 1–38%, а наименьший в районе 6–5%. Вклады осадков/испарения и потока соли из глубин соизмеримы и составляют в среднем по всем районам 13 и 10% соответственно. В целом, на внутригодовом масштабе в формирование теплового режима ВКС в районах 1–5 доминирующий вклад вносит теплообмен с атмосферой, а в районе 6 – адвекция. В межгодовой изменчивости во всех районах как в холодный, так и в теплый сезоны наблюдаются линейные тренды на возрастание температуры и солёности ВКС и сокращение сплоченности и толщины льда. В большинстве районов также присутствуют тренды на рост толщины ВКС в холодный сезон и теплоотдачи в атмосферу.

В заключение отметим основные результаты выполненного диссертационного исследования. Впервые количественно оценено увеличение теплопотерь с поверхности моря в холодный период. Если в 1979–2003 гг. средняя суммарная теплоотдача с поверхности моря в холодный сезон составляла 1900 МДж/м^2 , то в 2004–2019 гг. выросла до 2600 МДж/м^2 . Рост связан с увеличением разности между приземной температурой воздуха и температурой поверхности моря. Установлено, что внутригодовая изменчивость солёности во всех районах моря контролируется горизонтальной адвекцией соли ($54 \pm 10\%$), обеспечивающей осолонение ВКС. А доминирующий вклад в формирование внутригодовой изменчивости температуры ВКС вносит теплообмен с атмосферой ($57 \pm 5\%$). На горизонтальную адвекцию приходится ($40 \pm 5\%$). Во всех районах моря установлены устойчивые положительные тренды температуры и солёности ВКС. Поступление адвективного тепла обеспечило повышение температуры воды БМ с 1993 по 2018 гг. со средней скоростью $0,28 \text{ }^\circ\text{C/год}$.

Результаты получены с использованием современных данных и методов обработки и анализа, представлены ясно и не вызывают сомнений в достоверности. Благодаря расчётам по данным реанализов с высоким разрешением по пространству, получены новые и первые количественные оценки переносов тепла и соли через границы Баренцева моря и потоки на поверхности моря.

Из недостатков работы следует отметить излишне краткое введение и обзор исследований по теме диссертации.

Вместе с тем указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.17. Океанология (по географическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете

имени М.В. Ломоносова, и оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Сумкина Александра Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.17. Океанология.

Официальный оппонент:

доктор географических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
зав. лабораторией крупномасштабного
взаимодействия и динамики климата
ФГБУ «Арктический и антарктический
научно-исследовательский институт»

АЛЕКСЕЕВ Генрих Васильевич  « » декабря 2024 г.

Контактные данные:

Тел.: +7(812)337-31-46, e-mail: alexgv@aari.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
25.00.28. Океанология

Адрес места работы:

199397, г. Санкт-Петербург, ул. Беринга, д. 34, ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», лаборатория крупномасштабного взаимодействия и динамики климата

Тел.: +7(812)337-31-14, e-mail: aaricoop@aari.ru

Подпись Г.В. Алексеева удостоверяю:

Учёный секретарь ФГБУ «ААНИИ»
кандидат физико-математических наук



М.А. Гусакова