

УДК 910:911

ВЛИЯНИЕ СОКРАЩЕНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ НА ТРАДИЦИОННОЕ ОЛЕНЕВОДСТВО ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ

© **Б. К. ФОРБС**,^{*1} **Т. КУМПУЛА**,^{**} **Н. МЕСШТЫБ**,^{**2} **Р. ЛАПТАНДЕР**,^{*3}
М. МАСИАС-ФАУРИА,^{***} **П. ЗЕТТЕРБЕРГ**,^{****} **М. ВЕРДОНЕН**,^{**}
А. СКАРИН,^{*****} **КВАНГ-ЮЛ КИМ**,^{*****} **Л. Н. БОЙСВЕРТ**,^{*****}
ДЖ. К. СТРОВЕ,^{*****} **А. БАРТИЦ**^{*****}

* Арктический Центр, Университет Лапландии, Рованиemi, Финляндия

** Факультет географических и исторических исследований, Университет
Восточной Финляндии, Йозенсуу, Финляндия

*** Факультет географии и окружающей среды, Оксфордский университет,
Великобритания

**** Лаборатория дендрохронологии, Университет Восточной Финляндии,
Йозенсуу, Финляндия

***** Шведский Университет сельскохозяйственных наук, Упсала, Швеция

***** Факультет Земли и исследований окружающей среды, Сеульский университет,
Сеул, Южная Корея

***** Междисциплинарный центр науки о земной системе, Университет Мэриленда
в Колледж-Парке, Мэриленд, США

***** Национальный центр снега и льда, Университет Колорадо, Боулдер, США

***** Университетский колледж Лондона, Лондон, Великобритания

***** Центральный Институт метеорологии и геодинамики, Вена, Австрия

E-mail: ¹ bforbes@ulapland.fi

² meschtyb@mail.ru

³ roza.laptander@mail.ru

В последние десятилетия наблюдается ускоренное сокращение ледовитости в Баренцевом и Карском морях. Оценка возможных движущих сил и связи между отступлением/утономением морского льда, изменением климата, биоты и уникальной социально-экономической системы п-ова Ямал является важной задачей в изучении Арктики. В последние годы в регионе участились и стали интенсивнее случаи выпадения дождя в осенне-зимний период. Ранее исследователи связывали повышение температуры воздуха с более частыми и устойчивыми летними системами высокого давления над Западной Сибирью, но не с сокращением ледовитости.

В настоящей статье мы рассматриваем примеры осеннего атмосферного потепления и увеличения количества осадков над арктическими прибрежными участками вблизи районов сокращения ледовитости в Баренцевом и Карском морях. Два серьезных эпизода выпадения дождя, произошедшие в ноябре 2006 г. и зимой 2013/14 г. на п-ове Ямал, привели к обширному обледенению пастбищ и к массовому падежу оленей. Интервью с оленеводами выявили, что экологические и социально-экономические последствия этого природного явления будут проявляться еще несколько лет. Мы предполагаем, что сокращение ледовитости повлияло на увеличение частоты и интенсивности выпадения дождя на снег. В условиях устойчивой тенденции сокращения льдов в Баренцевом и Карском морях требуется анализ метеорологических данных и данных по состоянию морского льда. Такое своевременное и точное прогнозирование вероятности выпадения жидких осадков зимой может иметь особое значение для сохранения оленеводства в Арктике.

Ключевые слова: северный олень (*Rangifer tarandus*), п-ов Ямал, ненецкие оленеводы, устная история, Баренцево и Карское моря, ледовитость, Западная Сибирь, изменение климата, «дождь-на-снег», обледенение.

Введение. Коренные народы Арктики живут в тесном контакте с природой и имеют богатый исторический опыт адаптации к различным изменениям в окружающей среде [9].

В последние десятилетия потепление климата в Арктике происходит заметнее и интенсивнее по сравнению с более низкими широтами [22, 36]. Охотники и оленеводы из разных регионов Крайнего Севера отмечают признаки изменения климата; в то же время они часто характеризуют многие необычные погодные явления как обычные, особенно для экстремальных условий Арктики [11, 21, 22]. Стремительное отступление и утончение льда в Баренцевом и Карском морях являются важнейшими симптомами изменения климата как в Арктике, так и в мире в целом [18, 36]. Одновременно с этими процессами по всей территории севера Западной Сибири участились и стали более интенсивными осенне-зимние случаи выпадения дождя на снег (англ. *rain-on-snow* (ROS)) [5, 31]. ROS стал причиной образования ледяной корки на пастбищах, из-за которой зимой 2013/14 г. погибла 61 тыс. из общей численности 275 тыс. оленей (*Rangifer tarandus*) п-ова Ямал [26]. Это крупнейшая потеря поголовья оленей в истории региона. Участвовавшие за последние десятилетия теплые и влажные зимы в Арктике вызывают особую обеспокоенность [7, 39], особенно из-за негативного влияния «дождя-на-снег» на популяции домашнего и дикого северного оленя в Евразии [1, 5, 15, 16, 35]. Для сравнения, похожие по погодным условиям теплые и влажные зимы уже отрицательно сказались на популяции диких оленей на острове Шпицберген [15, 16].

Понимание связи между потерей морского льда и выпадением ROS зимой в арктических широтах является актуальной проблемой, так как это явление стало негативно сказываться на традиционных социально-экологических системах региона.

Есть мнение, что на циркумполярном уровне увеличение биомассы растительного покрова арктической тундры, или «позеленение Арктики» (*greening of the Arctic*), связано с сокращением и утончением морского льда [6, 28]. Однако данные, полученные на основе дендроклиматологического анализа тундровых кустарников в Ненецком автономном округе (НАО) и Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО), не подтверждают эту связь в районах Баренцева и Карского морей. Наблюдаемая в последние десятилетия тенденция увеличения роста лиственных кустарников, по-видимому, тесно связана с увеличением летних температур и продолжительности периода с высокими летними температурами в Западной Сибири [25]. Если ранее при анализе изменений арктической биоты исследователи Арктики уделяли особое внимание тенденциям летнего потепления и сокращению летних оленьих пастбищ из-за развития нефтегазового сектора [11–13], то в настоящее время зимние повышения температур требуют особого внимания. Именно они стали причиной наиболее значительных изменений в популяции северного оленя [1, 26, 31, 33].

В этом междисциплинарном исследовании мы рассматриваем взаимосвязь между атмосферным потеплением, сокращением ледовитости Баренцева и Карского морей, выпадением осадков зимой над арктическими прибрежными районами, а также влияние этих процессов на арктическую биоту Ямала. На основе анализа последней опубликованной литературы и попыток моделирования изменения состояния морского льда и атмосферных явлений

мы предполагаем, что сокращение ледовитости является основной причиной значительного увеличения случаев ROS. В работе также учитываются примеры исторических случаев выпадения осадков «дождь-на-снег» зимой на п-ове Ямал.

Материалы и методы. Более 6 тыс. коренных жителей Ямальского района ЯНАО ведут кочевой и полукочевой образ жизни [38]. Маршруты кочевий некоторых из них протягиваются от зимних ягельных пастбищ в районах лесотундры к югу от р. Обь на север, в сторону тундровой зоны п-ова Ямал [12]. С марта 2014 г. по апрель 2016 г. мы провели опрос среди оленеводов и работников администрации Ярсалинского совхоза, имеющего самые длинные маршруты кочевий оленеводческих хозяйств, и Байдарацкого совхоза (около 60 респондентов) (рис. 1). Информанты представлены мужчинами (около 70 %) и женщинами (30 %) в возрасте от 60 лет и старше (40 %), 50—60 лет (40 %) и младше 40 лет (20 %), работающими как в государственных, так и в частных хозяйствах. Общая численность поголовья оленей в ЯНАО в январе 2015 г. составила 705 тыс. животных, из которых 394 тыс. были в частных хозяйствах [1]. Кочевые хозяйства варьируются по размерам от 100 голов до нескольких тысяч животных.

В процессе работы мы собрали интервью о случаях ROS, ставших причиной большой потери оленей от голода осенью—зимой 2013—2014 гг. Кроме того, темами обсуждения были и воспоминания о случаях гололеда за период прошлого столетия, которые, по словам оленеводов, происходили примерно в каждое десятилетие, например они были в 1947, 1954, 1974 и 1996 гг. Мы объединили архивные данные, предоставленные атмосферным инфракрасным зондом (Atmospheric InfraRed Sounder — AIRS) для определения сезонных и аномальных явлений (в том числе в определенные даты) над Баренцевым и Карским морями за 2006—2007 и 2013—2014 гг. Кроме того, были проверены аномалии выпадения осадков с помощью системы ERA—Interim data, созданной Европейским центром прогнозов погоды (ECMWF). Одновременно были исследованы архивы усовершенствованного скаттерометра ASCAT (Advanced Scatterometer) для возможности определения явления ROS, произошедшего осенью 2013 г. Протяженность морского льда была установлена с помощью данных специального микроволнового радиометра SSMIS (Special Sensor Microwave Imager/Sounder).

Во время обсуждения случаев гололеда с оленеводами и представителями администрации мы работали с наглядным материалом: 1) топографическими картами с названиями местности от крупного (1:100 000) до среднего (1:500 000) масштабов, и 2) спутниковыми снимками местности от среднего (Landsat) до очень высокого разрешения (WorldView, GeoEye, QuickBird2).

В данной статье анализ данных, полученных в сочетании применения количественного и качественного методов (например, включенного наблюдения), сопровождается обзором научной литературы по моделированию процессов сокращения ледовитости в Баренцевом и Карском морях.

Результаты. Данные SSMIS за периоды 5—10.11.2006 г. (ROS зимы 2006/07 г.) и 5—10.11.2013 г. показывают постепенное сокращение льдов в Баренцевом и Карском морях (рис. 2, а, б). В данных ASCAT четко видно сильное обледенение пастбищ с 10.11.2013 г. на большей части юга п-ова Ямал, что составляет территорию в общей сложности около 27 058 км² (рис. 3). Данные AIRS за осень показали аномально высокие уровни общих атмосферных осадков над НАО 06.11.2006 г. и над ЯНАО 07.11.2006 г.; над НАО

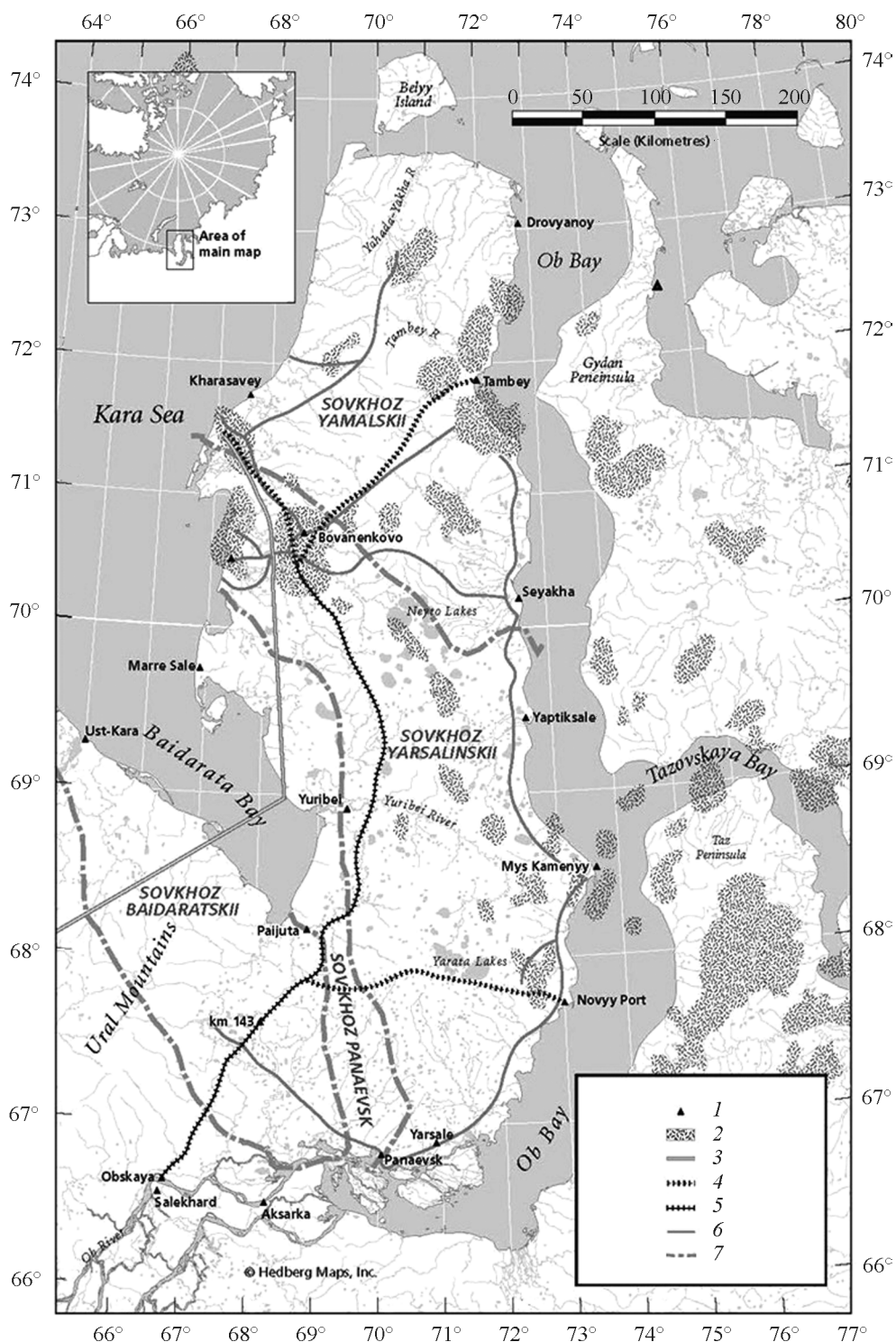


Рис. 1. Нефтегазовые поля, инфраструктура и территории совхозов на п-ове Ямал.

1 — населенные пункты, 2 — нефтегазовые месторождения, 3 — проектируемый газопровод, 4 — проектируемые железные дороги, 5 — железная дорога, 6 — зимние дороги, 7 — границы совхозов.

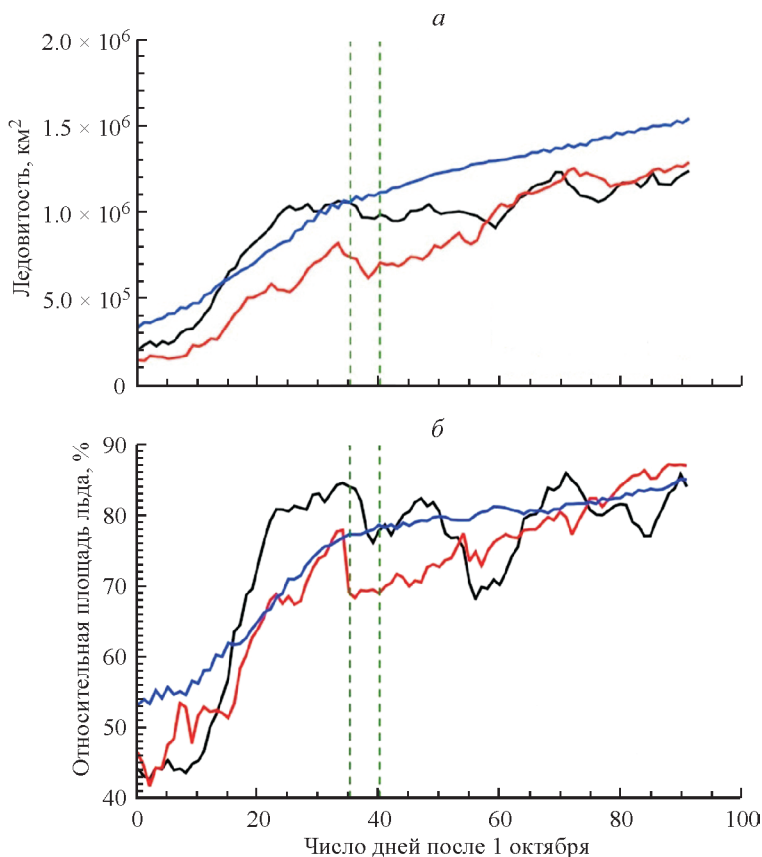


Рис. 2. Абсолютная (а) и относительная (б) площадь льда в Баренцевом и Карском морях по данным радиометра SSMIS.

Черная линия — 2006 г., красная линия — 2013 г., синяя линия — средние показатели за 1981—2010 гг. Пунктирные зеленые линии обозначают период значительного сокращения льда в начале ноября.

07.11.2013 г. и ЯНАО 08.11.2013 г. (рис. 4, а—д). Согласно данным AIRS по температуре воздуха наблюдались anomalно высокие температуры над НАО 06.11.2006 г. и над ЯНАО 07.11.2006 г. После anomalно высоких температур, зарегистрированных в этих регионах с 06 по 09.11.2013 г., последовали anomalно низкие температуры по всему п-ову Ямал с 10.11.2013 г. (рис. 4, е—з). С помощью AIRS были обнаружены тепловые потоки с поверхности в атмосферу над Баренцевым морем 05—07.11.2006 г. и над Карским морем 08—09.11.2006 г. В 2013 г. положительные явные тепловые потоки были обнаружены над Баренцевым морем с 5 по 8 ноября и над Карским морем 9 ноября. Данные ERA-Interim прогнозировали anomalно высокие осадки над НАО и ЯНАО 06—07.11.2006 г. и 06—07.11.2013 г. (рис. 5, а), сопровождающиеся адвекцией ветра с юга (рис. 5, б). Данные ERA поддерживают эмпирические наблюдения и коррелируют с данными по состоянию морских льдов.

«Дождь-на-снег» 2013 г. на п-ове Ямал длился почти сутки — с 8 по 9 ноября. После этого температура воздуха опустилась ниже 0°C и не поднималась выше этого уровня всю оставшуюся осень и последующую зиму. В ре-

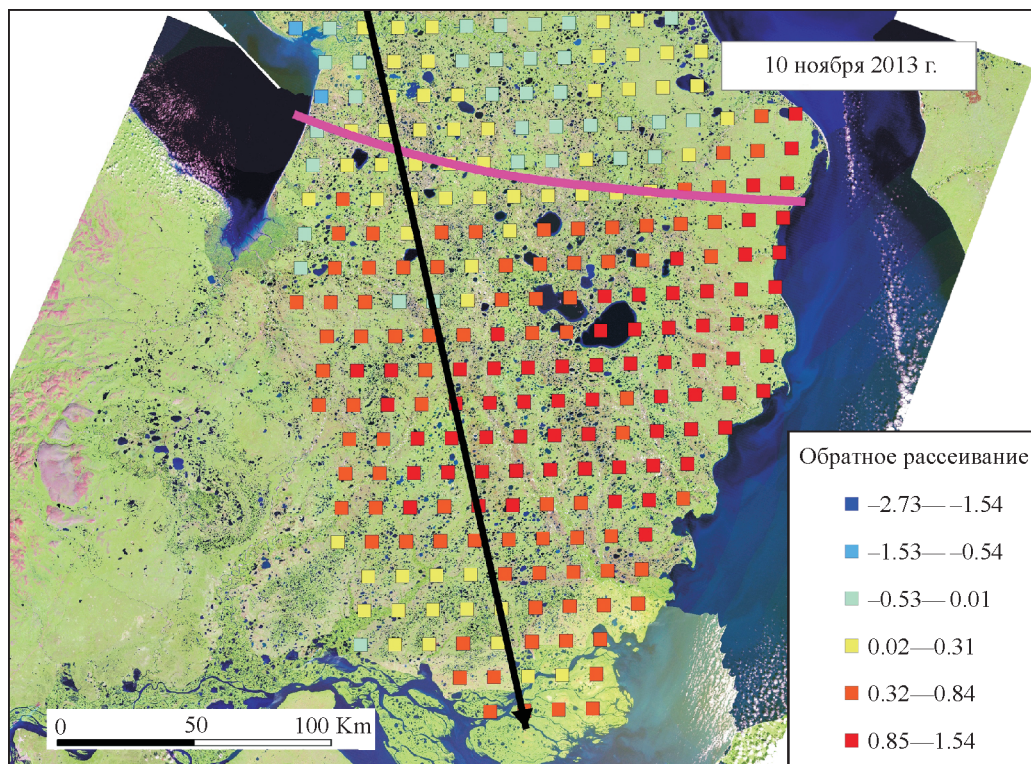


Рис. 3. Обратное рассеивание (отражение радиолокационных сигналов спутникового датчика с поверхности земли, снега или льда), зафиксированное скаттерометром ASCAT, южная часть п-ова Ямал, 10.11.2013 г.

Красной линией отмечена северная граница сильно обледевших пастбищ; черная стрелка указывает передвижение оленеводов в южном направлении.

зультате на территории полуострова, над которой произошел ROS, образовался гололед (рис. 3), из-за последствий которого зимой и весной 2014 г. оленеводы потеряли основную часть своих животных. Не имея оленей, они потеряли возможность кочевать и были вынуждены изменить привычный образ жизни. Многие переехали в поселок или остались жить у водоемов и переключились на рыболовство. Хотя районные власти постарались выплатить компенсации для восстановления поголовья оленей, однако, нет гарантии того, что все оленеводы смогут нарастить нужное количество оленей и вернуться в тундру. Сами оленеводы дают различные интерпретации высокой смертности оленей зимой 2013/14 г. Иногда они объясняют причины своих несчастий, основываясь на нормах традиционных верований [2].

Обсуждение. Недавнее отступление зимнего морского льда наиболее четко заметно в Баренцевом море [3, 32]. Это объясняется возрастающей «атлантификацией» [32] и связывается с аномально теплой адвекцией над Баренцевым морем в годы слабого льда [17]. Другим фактором, вызывающим потерю льда в Баренцевом и Карском морях, является уральское блокирование с положительным индексом североатлантического колебания, который в 2000—2013 гг. был более устойчивым, чем в 1979—1999 гг. [24].

Попытки моделирования, такие как атмосферный реанализ, включая данные ERA—Interim, показали аномально высокие зимние явные тепловые по-

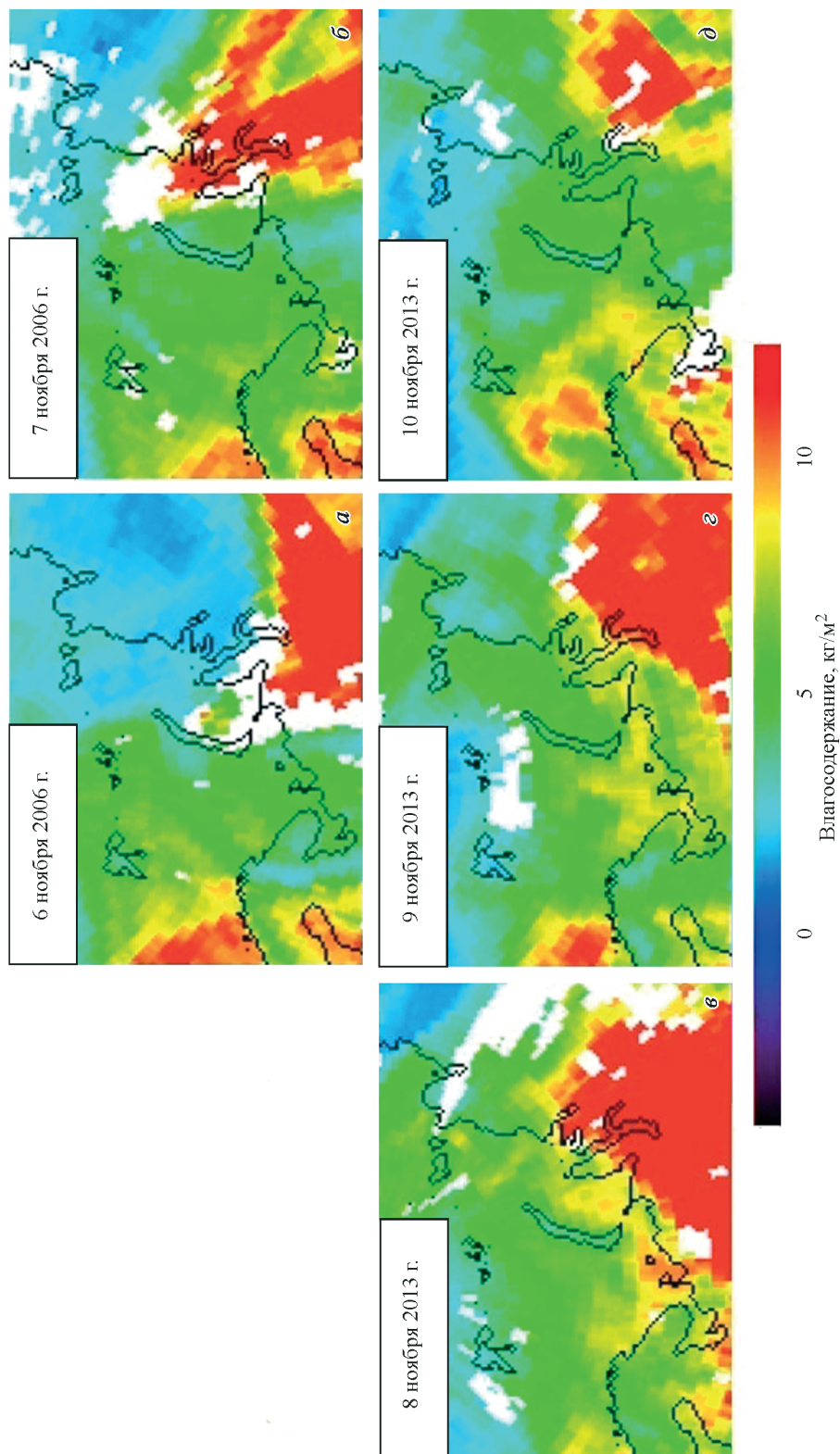
токи в Баренцевом море [23]. Еще ранее было замечено, что Баренцево море было единственным регионом Арктики со значительным потеплением во всех вариантах моделирования [24]. Отрицательные аномалии концентрации льда были наиболее ярко выражены в Баренцевом море со значительным повышением осадков над участками, где наблюдаются потеря ледовитости и атмосферное потепление, распространяющееся на материковые районы вокруг Баренцева моря [30]. Однако сокращение зимнего ледяного покрова в Баренцевом и Карском морях не всегда приводит к *a priori* ожидаемому потеплению над соседними континентальными районами [27].

Количественные связи между сокращением ледовитости Арктики и повышением осадков остаются недостаточно подтвержденными [37], хотя отмечаются важные взаимосвязи между ноябрьской потерей льда в Баренцевом море и индексом североатлантического колебания (North Atlantic Oscillation — NAO) в последующую зиму [19].

Метеорологические данные показывают осадки, выпавшие в виде дождя над центральной частью ЯНАО 8—9.11.2016 г. [31]. Данные AIRS по зиме 2013/14 г. (не представлены) подтверждают наблюдения оленеводов о том, что после образования ледяного слоя 10.11.2013 г. наступили холода. С помощью ASCAT это явление было зарегистрировано, несмотря на низкую чувствительность к структурным изменениям снега по сравнению с QuikSCAT [5] из-за интенсивности и масштаба территории обледенения (рис. 3). Схема конвергенции влажности ERA—Interim аналогична с зафиксированными осадками (рис. 5). Несмотря на то что линии потока ветра указывают, что влага была перенесена сюда с юга, это не означает, что она первоначально была принесена с континента, а, скорее, пришла ранее с моря. Некоторые явления, произошедшие в результате цепочки событий: *потепление—сокращение площади морского льда—повышение осадков и зимних температур—ROS—надеж оленей—устойчивость социально-экологических систем* — уже обсуждались в работах других исследователей [3, 5—8, 13, 15—19, 23, 24, 30—32, 35, 39].

В данном исследовании мы впервые предлагаем рассматривать взаимосвязь между кратковременным, но значительным в пространственном отношении отступлением ноябрьского морского льда и масштабными случаями ROS на материковой части России (рис. 6). Мы подчеркиваем, что сокращение ледовитости может быть связано с увеличением осадков и повышением температуры воздуха в районе Баренцева и Карского морей. Логично предположить, что в таких условиях случаи ROS могут в будущем участиться.

Схема все более частых и интенсивных осенне-зимних дождей в НАО и ЯНАО отражает летние области высокого давления над Западной Сибирью. Региональные комплексные тенденции осеннего, зимнего и летнего потепления являются настоящими испытаниями для сохранения кочевого оленеводства. Ранее упоминалось, что оленеводы помнят прошлые случаи обледенения пастбищ. Такие традиционные знания коренных народов Севера помогают им сравнивать современные процессы изменения климата с прошлыми случаями [4, 10, 13, 29] и способствуют социально-экологической устойчивости [13]. В ненецком языке есть специальный термин для зимнего гололеда на пастбищах — *салаба*, когда дождь выпадает на снег зимой, образуя ледяную корку, которая не позволяет оленям добраться до корма, в результате чего животные могут умереть от голода. Такой бедственный год называется *сэрад по*. Практические знания о подобных экстремальных погодных явлениях пе-



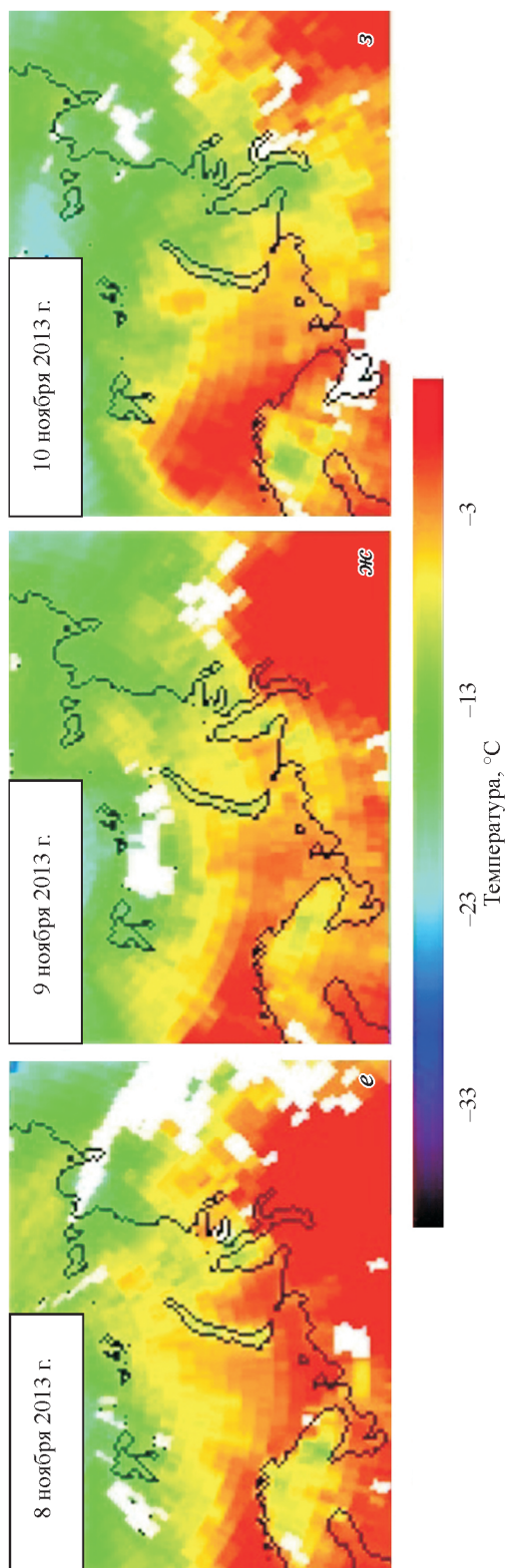


Рис. 4. Ежедневная общая масса осадков (по данным AIRS) 6—7 ноября 2006 г. (а, б) и 8—10 ноября 2013 г. (в—д); температура воздуха 8—10 ноября 2013 г. на уровне атмосферного давления 925 гПа (е—з) в регионе Баренцева и Карского морей.

Белым цветом отмечены территории, по которым отсутствуют данные; черным цветом — береговая линия.

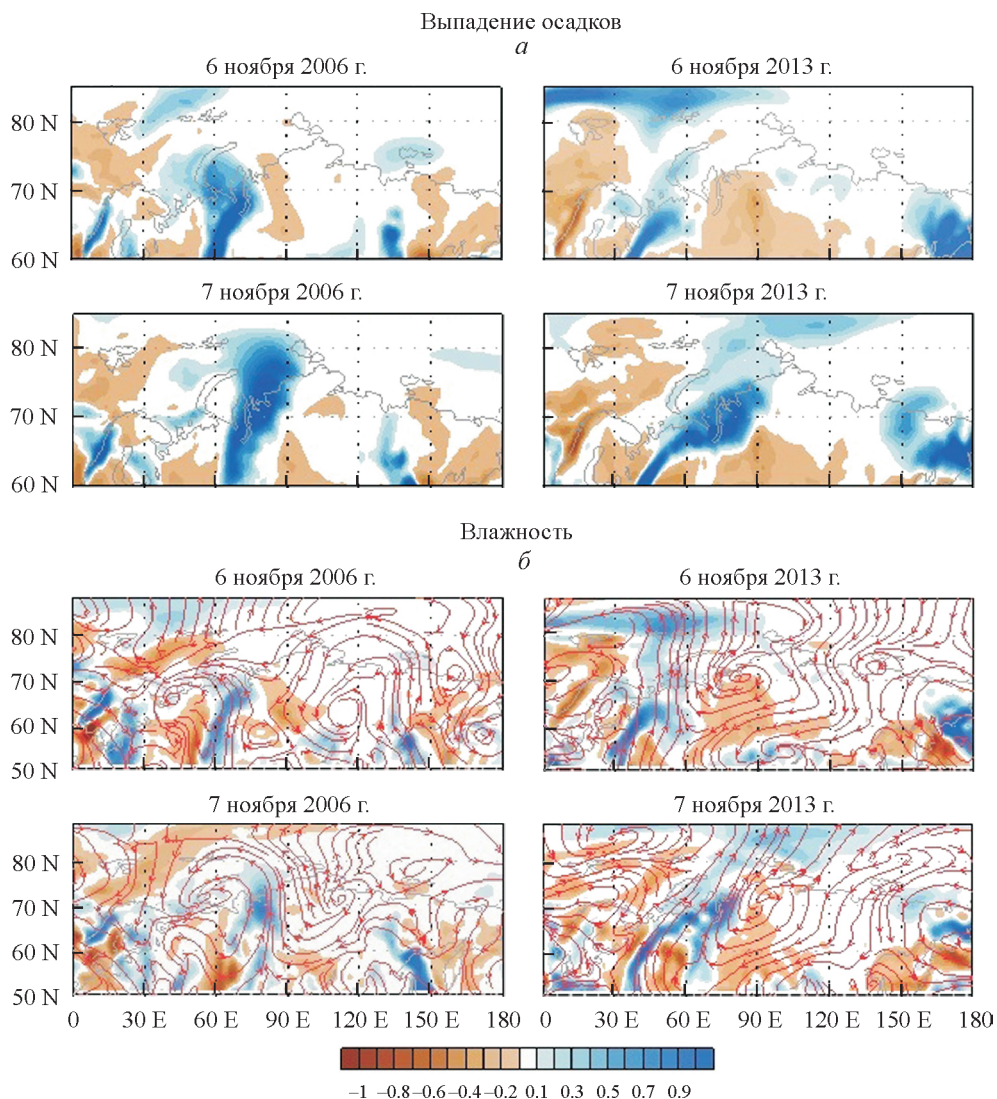


Рис. 5. *a* — аномалии атмосферных осадков по сравнению с соответствующим среднемесячным уровнем (мм) в северной Евразии в 2006 и 2013 гг. (выделены синим цветом); *б* — конвергенция влаги и передвижение влаги (линии со стрелками) на уровне атмосферного давления 850—1000 гПа в 2006 и 2013 гг.

Конвергенция влаги с повышенным содержанием в основном обуславливает осадки. Шкала внизу обозначает аномалии среднемесячной влажности на уровне атмосферного давления 850—1000 гПа: от очень низкой (коричневый цвет) до очень высокой (синий цвет).

редаются из поколения в поколение. Интересно, что во время интервью даже молодые оленеводы рассказывали об исторических случаях гололеда. Устные рассказы ненцев свидетельствуют о том, что небольшие, мобильные стада оленеводов-частников могут справляться с трудностями лучше, чем крупные совхозные оленеводческие хозяйства. Подобная стратегия выживания оказалась жизнеспособной и во взаимодействии оленеводов с инфраструктурой нефтегазовой отрасли [13].

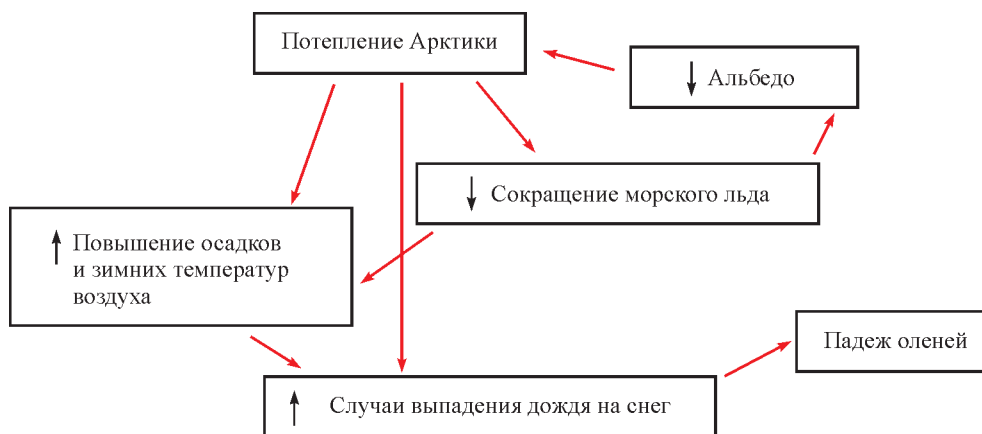


Рис. 6. Связи между климатическими процессами в Арктике и традиционным оленеводством.

Стрелки вверх — увеличение показателя, вниз — уменьшение.

В целом можно сказать, что оленеводы философски относятся к потере оленей. В ненецкой культуре размер оленьего стада подвижен и может изменяться в зависимости от ситуации, из-за природных или социальных причин или же их сочетания [2, 20, 34]. Так, некоторые оленеводы верят, что несоблюдение традиционных норм и нарушение религиозных запретов может стать причиной неудачи или потери оленей [12–14, 34]. В то же время представители районной администрации считают, что слишком крупные стада оленей негативно влияют на состояние пастбищ, особенно во время гололеда.

Выводы. Потепление в тундровой зоне Западной Сибири уже превышает лимит потепления 1.5 °C, определенный Конференцией по климату в Париже 2015 г. (COP21). Наш анализ свидетельствует о том, что сокращение площади распространения ноябрьского льда в Баренцевом и Карском морях стало причиной выпадения дождя над прибрежными районами и над Ямалом. В результате этого явления ненецкие оленеводы столкнулись с угрозой потери поголовья оленей.

При условии дальнейшего сокращения ледовитости Баренцева и Карского морей возникает необходимость получения точных и своевременных прогнозов осеннего ледового покрова. Это может быть достигнуто совместным использованием эмпирических данных и реанализа данных системы ERA—Interim. Интерпретация метеорологических данных и раннее прогнозирование возможных экстремальных погодных явлений необходимы для оленеводов Ямала, особенно в условиях их сосуществования с крупнейшим в России газодобывающим комплексом.

Благодарности. Данное исследование финансировалось Академией Финляндии (решения № 256991 и 251111) и программой JPI Climate (№ 291581). Кроме того, профессор Б. Форбс получил гостевой грант от Dickey Center из Дартмутского колледжа в 2015—2016 гг. Мы благодарим всех ямальских оленеводов за помощь в проведении исследования, за их искреннюю любовь к родной земле и беспокойство за будущее тундры. Это вдохновило нас на проведение данного исследования. Выражаем благодарность рецензенту за замечания и советы по тексту.

Список литературы

- [1] Администрация Ямалского района 2015. Доклад о социально-экономической ситуации Муниципального образования Ямалский район за 2014 год. Департамент экономики муниципального образования пос. Яр-Сале, Ямалский район.
- [2] Головнев А. В. Говорящие культуры: традиции самодийцев и угров. Екатеринбург, 1995. 600 с.
- [3] Erthun M., Eldevik T., Smedsrud L. H., Skagseth I., Ingvaldensen R. B. Quantifying the influence of Atlantic heat on Barents Sea ice variability and retreat // *J. Climate*. 2012. 25. P. 4736—4743. Doi: 10.1175/JCLI-D-11-00466.1 (дата обращения: 25.09.2017).
- [4] Barnes J. M. et al. Contribution of anthropology to the study of climate change // *Nature Climate Change*. 2013. N 3. P. 541—544.
- [5] Bartsch A., Kumpula T., Forbes B. C., Stammer F. Detection of snow surface thawing and refreezing using QuikSCAT: implications for reindeer herding // *Ecol. Appl.* 2010. N 20. P. 2346—2358.
- [6] Bhatt U. S. et al. Circumpolar Arctic tundra vegetation change is linked to sea ice decline // *Earth Inter.* 2010. N 14. P. 1—20.
- [7] Boisvert L. N., Stroeve J. C. The Arctic is becoming warmer and wetter as revealed by the Atmospheric Infrared Sounder // *Geophys. Res. Lett.* 2015. N 42. P. 4439—4446. Doi: 10.1002/2015GL063775 (дата обращения: 25.09.2017).
- [8] Bokhorst S. et al. Changing Arctic snow cover: a review of recent developments and assessment of future needs for observations, modelling, and impacts // *Ambio*. 2016. Doi: 10.1007/s13280-016-0770-0 (дата обращения: 25.09.2017).
- [9] Crate S. A., Forbes B. C., King L., Kruse J. Contact with nature // Larsen J. N., Schweitzer P. and Fondahl G. (eds.). *Arctic Social Indicators: a follow-up to the Arctic Human Development Report*. Tema Nord 2010:519. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 2010. P. 109—127.
- [10] Eicken H. Arctic sea ice needs better forecasts // *Nature*. 2013. N 437. P. 431—433. Doi:10.1038/497431a (дата обращения: 25.09.2017).
- [11] Forbes B. C., Stammer F. M. Arctic climate change discourse: the contrasting politics of research agendas in the West and Russia // *Polar Resources*. 2009. N 28. P. 28—42.
- [12] Forbes B. C., Stammer F., Kumpula T., Meschytyb N., Pajunen A., Kaarlejärvi E. High resilience in the Yamal-Nenets social-ecological system, West Siberian Arctic, Russia // *PNAS*. 2009. N 106. P. 22 041—22 048.
- [13] Forbes B. C. Cultural resilience of social-ecological systems in the Nenets and Yamal-Nenets Autonomous Okrugs, Russia: A focus on reindeer nomads of the tundra // *Ecology and Society*. 2013. N 18(4):36. Doi.org/10.5751/ES-05791-180436 (дата обращения: 25.09.2017).
- [14] Golovnev A. V. and G. Osherenko. *Siberian survival: the Nenets and their story*. Cornell University Press, Ithaca, New York, 1999. 220 p.
- [15] Hansen B. B., Aanes R., Herfindel I., Kohler J., Father B.-E. Climate, icing, and wild arctic reindeer: past relationships and future prospects // *Ecology*. 2011. N 92. P. 1917—1923.
- [16] Hansen B. B., Isaksen K., Benestad R. E., Kohler J., Pedersen E. I., Loe L. E., Coulson S. J., Larsen J. O., Varpe Ø. Warmer and wetter winters: characteristics and implications of an extreme weather event in the High Arctic // *Env. Res. Letters*. 2014. N 9. Doi: 10.1088/1748-9326/9/11/114021 (дата обращения: 25.09.2017).
- [17] Inoue J., Hori M. E., Takaya K. The role of Barents Sea ice in the wintertime cyclone track on emergence of a warm-Arctic cold-Siberian anomaly // *J. Climate*. 2012. N 25. P. 2561—2568. Doi: 10.1175/JCLI-D-11-00449.1 (дата обращения: 25.09.2017).

- [18] *Kim K.-Y. et al.* Mechanism of seasonal Arctic sea ice evolution and Arctic Amplification // *The Cryosphere*. 2016. N 10. P. 1—12. Doi: 10.5194/tc-10-1-2016 (дата обращения: 25.09.2017).
- [19] *Koenigk T. et al.* Regional Arctic sea ice variations as predictor for winter climate conditions // *Clim. Dyn.* 2016. N 46. P. 317—337 Doi: 10.1007/s00382-015-2586-19 (дата обращения: 25.09.2017).
- [20] *Krupnik I.* Arctic adaptations: native whalers and reindeer herders of northern Eurasia. Univ. Press of New England, Dartmouth, NH, 1993. 375 p.
- [21] *Krupnik I. and Jolly D.* (eds.). The earth is faster now: indigenous observations of Arctic environmental change. ARCUS, Fairbanks, 2002. 356 p.
- [22] *Larsen J. N. et al.* Polar regions // *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 2014. P. 1567—1612.
- [23] *Lindsay R., Wensnahan M., Schweiger A., Zhang J.* Evaluation of seven different atmospheric reanalysis products in the Arctic // *J. Climate*. 2014. N 27. P. 2588—2605. Doi:10.1175/JCLI-D-13-00014.1 (дата обращения: 25.09.2017).
- [24] *Luo D., Y Xiao, Y Yao, A Dai, Simmonds I., Franzke C. L. E.* Impact of Ural blocking on winter warm Arctic—cold Eurasian anomalies. Part I: Blocking-induced amplification // *Journal of Climate*. 2016. N 29. P. 3925—3947. Doi: 10.1175/JCLI-D-15-0611.1 (дата обращения: 25.09.2017).
- [25] *Macias-Fauria M., Forbes B. C., Zetterberg P., Kumpula T.* Eurasian Arctic greening reveals teleconnections and the potential for structurally novel ecosystems // *Nat. Clim. Change*. 2012. N 2. P. 613—618. Doi: 10.1038/NCLIMATE1558 (дата обращения: 25.09.2017).
- [26] Moscow Times, 13 May 2014. Tens of thousands of reindeer die of extreme weather in Russia's North // *The Moscow Times*, 13 May 2014. <http://www.themoscowtimes.com/news/article/tens-of-thousands-of-reindeer-die-of-extreme-weather-in-russias-north/500060.html> (дата обращения: 25.09.2017).
- [27] *Petoukhov V., Semenov V. A.* A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents // *J. Geophys. Res.* 2010. N 115. D21111. Doi: 10.1029/2009JD013568 (дата обращения: 25.09.2017).
- [28] *Post E. et al.* Ecological consequences of sea-ice decline // *Science*. 2013. N 341. P. 519—524. Doi: 10.1126/science.1235225 (дата обращения: 25.09.2017).
- [29] *Savo V. et al.* Observations of climate change among subsistence-oriented communities around the world // *Nat. Clim. Change*. 2016. N 6. Doi: 10.1038/NCLIMATE2958 (дата обращения: 25.09.2017).
- [30] *Screen J. A., Deser C., Simmonds I., Tomas R.* Atmospheric impacts of Arctic sea-ice loss, 1979—2009: separating forced change from atmospheric internal variability // *Clim. Dyn.* 2014. N 43. P. 333—344. Doi: 10.1007/s00382-013-1830-9 (дата обращения: 25.09.2017).
- [31] *Sokolov A. A., Sokolova N. A., Ims R. A., Ludovic Brucker L., Ehrich D.* Emergent rainy winter warm spells may promote boreal predator expansion into the Arctic // *Arctic*. 2016. N 69. P. 121—129. Doi: 10.14430/arctic4559 (дата обращения: 25.09.2017).
- [32] *Smedsrud L. et al.* The role of the Barents Sea in the Arctic climate system // *Rev. Geophys.* 2013. N 51. P. 415—449. Doi: 10.1002/rog.20017 (дата обращения: 25.09.2017).
- [33] *Staalesen A.* On Arctic island, a reindeer tragedy // *The Independent Barents Observer*, 4 May 2016. <http://thebarentsobserver.com/ecology/2016/05/arctic-island-reindeer-tragedy> (дата обращения: 25.09.2017).
- [34] *Stammler F.* Reindeer nomads meet the market: culture, property, and globalization at the End of the Land. Lit, Berlin, 2005. 320 p.

- [35] *Stien A. et al.* Congruent responses to weather variability in High Arctic herbivores // *Biol. Lett.* 2012. N 8. P. 1002—1005. Doi: 10.1098/rsbl.2012.0764 (дата обращения: 25.09.2017).
- [36] *Stroeve J. C., Serreze M. C., Holland M. K., Kay J. E., Malanik J., Barrett A. P.* The Arctic's rapidly shrinking sea ice cover: a research synthesis // *Clim. Change.* 2012. N 110. P. 1005—1027. Doi: 10.1007/s10584-011-0101-1 (дата обращения: 25.09.2017).
- [37] *Wegmann M. et al.* Arctic moisture source for Eurasian snow cover variations in autumn // *Environ. Res. Lett.* 2015. N 10. Doi: 10.1088/1748-9326/10/5/054015 (дата обращения: 25.09.2017).
- [38] Yamalskii raion <http://yamolod.ru/mou/yamalskiy/> (дата обращения: 1.11.2017).
- [39] *Ye H., Daqing Y., Robinson D.* Winter rain on snow and its association with air temperature in northern Eurasia // *Hydrol. Process.* 2008. N 22. P. 2728—2736. Doi: 10.1002/hyp.7094 (дата обращения: 25.09.2017).

Поступило в редакцию
28 сентября 2017 г.

Coping with a warming winter climate in Arctic Russia: sea ice retreat in Barents and Kara Sea affecting Yamal Nenets reindeer nomadism

© *B. C. Forbes*,^{*1} *T. Kumpula*,^{**} *N. Meschtyb*,^{*2} *R. Laptander*,^{*3} *M. Macias-Fauria*,^{***}
P. Zetterberg,^{****} *M. Verdonen*,^{**} *A. Skarin*,^{*****} *Kwang-Yul Kim*,^{*****}
L. N. Boisvert,^{*****} *J. C. Stroeve*^{*****},^{*****} and *A. Bartsch*^{*****}

* Arctic Centre, University of Lapland, Rovaniemi, Finland

** Geographical and Historical Studies, University of Eastern Finland, Joensuu, Finland

*** School of Geography and the Environment, Oxford University, UK

**** Dendrochronology Laboratory, University of Eastern Finland, Joensuu, Finland

***** Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden

***** Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul,
Republic of Korea

***** Earth System Science Interdisciplinary Center, University of Maryland,
College Park, Maryland, USA

***** National Snow and Ice Data Center, University of Colorado, Boulder,
Colorado, USA

***** University College London, London, UK

***** Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Vienna, Austria

E-mail: ¹ bforbes@ulapland.fi

² meschtyb@mail.ru

³ roza.laptander@mail.ru

Sea ice loss is accelerating in the Barents and Kara Seas in the North-West region of Arctic Russia. Assessing potential drivers and linkages between sea ice retreat/thinning and maintenance of the region's ancient and unique social-ecological systems is a pressing task. Tundra nomadism remains a vitally important livelihood for indigenous Nenets and their large reindeer herds. Warming summer air temperatures in recent decades have been linked to more frequent and sustained summer high-pressure systems over West Siberia, but not to sea ice retreat. At the same time, autumn/winter rain-on-snow events across the region have become more frequent and intense. Here we review the evidence for autumn atmospheric warming and precipitation increases over Arctic coastal lands in proximity to Barents and Kara sea ice loss. Two major rain-on-snow events during November 2006 and 2013 led to massive winter reindeer mortality episodes on Yamal Peninsula. Fieldwork with migratory Nenets herders has revealed that the ecological and socio-economic impacts from the catastrophic 2013 event will unfold for years to come.

The link between sea ice loss and affects for the frequency and intensity of rain-on-snow events is suggested. This led to extensive icing of pastures and to the highest case of reindeer mortality in the entire history of Yamal.

If Barents and Kara sea ice continues to decline, better forecasts of autumn ice retreat could help to buffer against reindeer starvation following future rain-on-snow events. Precise and real-time weather forecast and warning of the probability of wet precipitation during winter may have serious implications for the future of tundra Nenets nomadism.

Key words: reindeer (*Rangifer tarandus*), Yamal peninsula, Nenets herders, oral history, Barents and Kara seas, sea ice, West Siberia, climate change, rain-on-snow, icing.

References

- [1] Administracija Jamal'skogo rajona 2015. Doklad o social'no-jekonomicheskoy situacii Municipal'nogo obrazovanija Jamal'skij rajon za 2014 god. Departament jekonomiki municipal'nogo obrazovanija pos. Jar-Sale, Jamal'skij rajon.
- [2] Golovnev A. V. Govorjashhie kul'tury: tradicii samodijcev i ugrov. Ekaterinburg, 1995. 600 c.
- [3] Erthun M., Eldevik T., Smedsrud L. H., Skagseth I., Ingvaldensen R. B. Quantifying the influence of Atlantic heat on Barents Sea ice variability and retreat // J. Climate. 2012. 25. P. 4736—4743. Doi: 10.1175/JCLI-D-11-00466.1 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [4] Barnes J. M. et al. Contribution of anthropology to the study of climate change // Nature Climate Change. 2013. N 3. P. 541—544.
- [5] Bartsch A., Kumpula T., Forbes B. C., Stammer F. Detection of snow surface thawing and refreezing using QuikSCAT: implications for reindeer herding // Ecol. Appl. 2010. N 20. P. 2346—2358.
- [6] Bhatt U. S. et al. Circumpolar Arctic tundra vegetation change is linked to sea ice decline // Earth Inter. 2010. N 14. P. 1—20.
- [7] Boisvert L. N., Stroeve J. C. The Arctic is becoming warmer and wetter as revealed by the Atmospheric Infrared Sounder // Geophys. Res. Lett. 2015. N 42. P. 4439—4446. Doi: 10.1002/2015GL063775 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [8] Bokhorst S. et al. Changing Arctic snow cover: a review of recent developments and assessment of future needs for observations, modelling, and impacts // Ambio. 2016. Doi: 10.1007/s13280-016-0770-0 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [9] Crate S. A., Forbes B. C., King L., Kruse J. Contact with nature // Larsen J. N., Schweitzer P. and Fondahl G. (eds.) Arctic Social Indicators: a follow-up to the Arctic Human Development Report. Tema Nord 2010:519. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 2010. P. 109—127.
- [10] Eicken H. Arctic sea ice needs better forecasts // Nature. 2013. N 437. P. 431—433. Doi: 10.1038/497431a (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [11] Forbes B. C., Stammer F. M. Arctic climate change discourse: the contrasting politics of research agendas in the West and Russia // Polar Resources. 2009. N 28. P. 28—42.
- [12] Forbes B. C., Stammer F., Kumpula T., Meschytyb N., Pajunen A., Kaarlejärvi E. High resilience in the Yamal-Nenets social-ecological system, West Siberian Arctic, Russia // PNAS. 2009. N 106. P. 22 041—22 048.
- [13] Forbes B. C. Cultural resilience of social-ecological systems in the Nenets and Yamal-Nenets Autonomous Okrugs, Russia: A focus on reindeer nomads of the tundra // Ecology and Society. N 18(4):36. 2013. Doi.org/10.5751/ES-05791-180436 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [14] Golovnev A. V. and G. Osherenko. Siberian survival: the Nenets and their story. Cornell University Press, Ithaca, New York, 1999. 220 p.
- [15] Hansen B. B., Aanes R., Herfindel I., Kohler J., Father B.-E. Climate, icing, and wild arctic reindeer: past relationships and future prospects // Ecology. 2011. N 92. P. 1917—1923.

- [16] Hansen B. B., Isaksen K., Benestad R. E., Kohler J., Pedersen E. I., Loe L. E., Coulson S. J., Larsen J. O., Varpe Ø. Warmer and wetter winters: characteristics and implications of an extreme weather event in the High Arctic // *Env. Res. Letters*. 2014. N 9. Doi: 10.1088/1748-9326/9/11/114021 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [17] Inoue J., Hori M. E., Takaya K. The role of Barents Sea ice in the wintertime cyclone track on emergence of a warm-Arctic cold-Siberian anomaly // *J. Climate*. 2012. N 25. P. 2561—2568. Doi: 10.1175/JCLI-D-11-00449.1 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [18] Kim K.-Y. et al. Mechanism of seasonal Arctic sea ice evolution and Arctic Amplification // *The Cryosphere*. 2016. N 10. P. 1—12. Doi: 10.5194/tc-10-1-2016 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [19] Koenigk T. et al. Regional Arctic sea ice variations as predictor for winter climate conditions // *Clim. Dyn.* 2016. N 46. P. 317—337. Doi: 10.1007/s00382-015-2586-19 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [20] Krupnik I. Arctic adaptations: native whalers and reindeer herders of northern Eurasia. Univ. Press of New England, Dartmouth, NH, 1993. 375 p.
- [21] Krupnik I. and Jolly D. (eds.). The earth is faster now: indigenous observations of Arctic environmental change. ARCUS, Fairbanks, 2002. 356 p.
- [22] Larsen J. N. et al. Polar regions // *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 2014. P. 1567—1612.
- [23] Lindsay R., Wensnahan M., Schweiger A., Zhang J. Evaluation of seven different atmospheric reanalysis products in the Arctic // *J. Climate*. 2014. N 27. P. 2588—2605. Doi: 10.1175/JCLI-D-13-00014.1 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [24] Luo D., Y Xiao, Y Yao, A Dai, Simmonds I., Franzke C. L. E. Impact of Ural blocking on winter warm Arctic—cold Eurasian anomalies. Part I: Blocking-induced amplification // *Journal of Climate*. N 29. 2016. P. 3925—3947. Doi: 10.1175/JCLI-D-15-0611.1 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [25] Macias-Fauria M., Forbes B. C., Zetterberg P., Kumpula T. Eurasian Arctic greening reveals teleconnections and the potential for structurally novel ecosystems // *Nat. Clim. Change*. 2012. N 2. P. 613—618. Doi: 10.1038/NCLIMATE1558 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [26] Moscow Times, 13 May 2014. Tens of thousands of reindeer die of extreme weather in Russia's North // *The Moscow Times*, 13 May 2014. <http://www.themoscowtimes.com/news/article/tens-of-thousands-of-reindeer-die-of-extreme-weather-in-russia-as-north/500060.html> (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [27] Petoukhov V., Semenov V. A. A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents // *J. Geophys. Res.* N 115. 2010. D21111. Doi:10.1029/2009JD013568 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [28] Post E. et al. Ecological consequences of sea-ice decline // *Science*. 2013. N 341. P. 519—524. Doi: 10.1126/science.1235225 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [29] Savo V. et al. Observations of climate change among subsistence-oriented communities around the world// *Nat. Clim. Change*. 2016. N 6. Doi: 10.1038/NCLIMATE2958 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [30] Screen J. A., Deser C., Simmonds I., Tomas R. Atmospheric impacts of Arctic sea-ice loss, 1979—2009: separating forced change from atmospheric internal variability // *Clim. Dyn.* 2014. N 43. P. 333—344. Doi: 10.1007/s00382-013-1830-9 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [31] Sokolov A. A., Sokolova N. A., Ims R. A., Ludovic Brucker L., Ehrich D. Emergent rainy winter warm spells may promote boreal predator expansion into the Arctic // *Arctic*. 2016. N 69. P. 121—129. Doi: 10.14430/arctic4559 (data obrasheniya: 25.09.2017).

- [32] *Smedsrud L. et al.* The role of the Barents Sea in the Arctic climate system // *Rev. Geophys.* 2013. N 51. P. 415—449. Doi: 10.1002/rog.20017 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [33] *Staalesen A.* On Arctic island, a reindeer tragedy // *The Independent Barents Observer*, 4 May 2016. <http://thebarentsobserver.com/ecology/2016/05/arctic-island-reindeer-tragedy> (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [34] *Stammler F.* Reindeer nomads meet the market: culture, property, and globalization at the End of the Land. Lit, Berlin, 2005. 320 p.
- [35] *Stien A. et al.* Congruent responses to weather variability in High Arctic herbivores // *Biol. Lett.* 2012. N 8. P. 1002—1005. Doi: 10.1098/rsbl.2012.0764 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [36] *Stroeve J. C., Serreze M. C., Holland M. K., Kay J. E., Malanik J., Barrett A. P.* The Arctic's rapidly shrinking sea ice cover: a research synthesis // *Clim. Change.* 2012. N 110. P. 1005—1027. Doi: 10.1007/s10584-011-0101-1 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [37] *Wegmann M. et al.* Arctic moisture source for Eurasian snow cover variations in autumn // *Environ. Res. Lett.* 2015. N 10. Doi: 10.1088/1748-9326/10/5/054015 (data obrasheniya: 25.09.2017).
- [38] Yamalskii raion <http://yamolod.ru/mou/yamalskiy/> (data obrasheniya: 1.11.2017).
- [39] *Ye H., Daqing Y., Robinson D.* Winter rain on snow and its association with air temperature in northern Eurasia // *Hydrol. Process.* 2008. N 22. P. 2728—2736. Doi: 10.1002/hyp.7094 (data obrasheniya: 25.09.2017).

Изв. РГО. 2018. Т. 150, вып. 1

ДИНАМИКА ЛЕСНЫХ ЛАНДШАФТОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

© Г. А. ИСАЧЕНКО,*¹ Е. А. ВОЛКОВА,² В. Н. ХРАМЦОВ**³**

* Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

** Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

E-mail: ¹ greg.isachenko@gmail.com

² evolkova305@gmail.com

³ vteberda@gmail.com

С 2006 г. проводится мониторинг природных комплексов на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) Санкт-Петербурга. К 2017 г. сеть мониторинга составляла 55 постоянных пробных площадей размером от 100 до 2500 м² на 12 ООПТ, в разных типах ландшафтных местоположений и растительных сообществ. В статье приведены основные результаты 10—11-летнего мониторинга ландшафтов с преобладанием лесной таежной растительности.

Показано, что сосновые (*Pinus sylvestris*) леса дренированных местоположений на песках и супесях (террас разного уровня, камовых холмов, уступов) находятся в стадии формирования приспевающих моnodоминантных древостоев со стабильным приростом запаса и развитием процессов внутритропулационной конкуренции. Процессы в напочвенном покрове сосняков связаны с послепожарными сукцессиями или восстановлением травяно-кустарничкового и мохового ярусов после снижения рекреационных нагрузок.

В лесах дренированных местоположений на ледниково-озерных песках и супесях и валунных отложениях (морене) с преобладанием либо значительной долей ели (*Picea abies*) в древостое на-