

## Современное изменение климата Арктики: результаты нового оценочного доклада Арктического совета

Ю. С. Цатуров, кандидат технических наук,  
Федеральная служба России по гидрометеорологии  
и мониторингу окружающей среды

А. В. Клепиков, кандидат физико-математических наук,  
ФГБУ «Арктический и антарктический  
научно-исследовательский институт»

*В статье излагаются результаты нового доклада Арктического совета «Снег, вода, лед и вечная мерзлота в Арктике», посвященного оценке современной ситуации в арктической криосфере. Изменение климата стало серьезной проблемой в Арктике за последние десятилетия. Последствия изменения климата включая повреждение зданий, дорог и трубопроводов, сокращение возможностей для охоты, лова рыбы, оленеводства, негативное влияние на здоровье населения северных территорий требуют развития стратегии адаптации.*

**Ключевые слова:** арктическая криосфера, изменение климата в Арктике, глобальные исследования климата, наземные гидрометрические сети.

Поступила в редакцию 05.12.2012

Арктический совет, международная организация восьми арктических государств, призванная содействовать сотрудничеству в области охраны окружающей среды и обеспечения устойчивого развития приполярных районов, уделяет большое внимание вопросам изменения климата в Арктике. В 2000 г. Арктический совет дал старт подготовке доклада «Оценка воздействий изменения климата в Арктике» (АСИА) (Arctic Climate Impact Assessment — ACIA). Это был совместный проект двух рабочих групп Арктического совета: Программы арктического мониторинга и оценки (АМАП) (Arctic monitoring and assessment programme — AMAP) и Программы сохранения арктической флоры и фауны (КАФФ) (Conservation of Arctic Flora and Fauna — CAFF).

Итогом реализации проекта явился тысячстраничный научный доклад, подготовленный к концу 2004 г. и изданный Кембриджским университетом [1]. В 18 главах доклада содержалась подробная информация о зафиксированных изменениях в атмосфере, криосфере и гидросфере, в озоне и ультрафиолетовой радиации, в экосистемах суши и вод. Оценивалось состояние лесного и сельского хозяйства, рыболовства, оленеводства, охоты в условиях меняющегося климата. Обсуждалось здоровье населения, перспективы коренных народов и сохранения их укладов жизни под влиянием происходящих изменений.

Результаты АСИА показали, что имеется тенденция роста температуры, достигающая за 30-летний период (1971—2000 гг.) в отдельных районах (Аляска, Северная Канада, Сибирь) почти 3°C. Хотя величина наблюдаемых трендов изменялась в пределах определенного региона и для некоторых регионов наблюдалось похолодание, общий тренд для Арктики за последние несколько десятилетий демонстрирует потепление, почти в два раза превышающее средний глобальный рост температуры на планете. За 1971—2000 гг. количество осадков возросло в большей части регионов Арктики на величину от 10% до 30%, площадь морских льдов сократилась на 10—15%, а площадь снежного покрова на суше уменьшилась примерно на 10%. Большинство ледников в Арктике теряли массу. На большей части территории Арктики температура верхнего слоя вечной мерзлоты возросла на 1—2°C за 30—40 лет. Сократилась продолжительность периода замерзания арктических озер и рек, за последние годы возрос сток арктических рек.

С учетом важности результатов оценки АСИА и в связи с тем, что проекты Международного полярного года (МПГ-2007/08) позволили получить много новых данных, Арктический совет решил выполнить аналогичную оценку с целью отследить изменения в Арктике и Субарктике уже в первом десятилетии XIX в. Было решено сделать упор на

изменениях в криосфере. Термин «криосфера» обозначает часть земной поверхности, периодически промерзающая или постоянно находящаяся в замерзшем состоянии. Сюда входят снег, мерзлый грунт, речной и озерный лед, ледники, ледяные шапки, ледяные щиты и морской лед. Криосфера — как бы каркас физической среды Арктики. Она является неотъемлемой частью климатической системы и оказывает влияние на климат как на региональном, так и на глобальном уровнях. При этом части криосферы исключительно важны для людей, проживающих в Арктике. Снег и ледники снабжают население пресной водой, речной и озерный лед обеспечивают возможность передвижения, морской лед дает возможность охоты на морского зверя и ловли рыбы.

Наблюдаемые изменения в морском ледяном покрове Северного Ледовитого океана, в ледниковом щите Гренландии, в ледяных шапках и ледниках, в снежном покрове и вечной мерзлоте Арктики за последние 10—15 лет носят драматический характер и очевидным образом расходятся с результатами наблюдений, которые выполнялись в XIX—XX вв. Именно поэтому оценка изменений в криосфере и стала главной задачей нового климатического проекта Арктического совета.

Координаторами проекта по подготовке нового оценочного доклада «Снег, вода, лед и вечная мерзлота в Арктике» (СВИПА) (Snow, Water, Ice, and Permafrost in the Arctic — SWIPA) стали АМАП, а также Международный арктический научный комитет (IASC), Всемирная программа исследования климата через проект «Климат и криосфера» (CliC) и Международная арктическая ассоциация социальных наук (IASSA). Отметим, что с момента начала реализации проекта АСИА в 2000 г. АМАП активно занимается обобщением и оценкой информации по естественной изменчивости климата, по антропогенным климатическим изменениям, по воздействиям глобальных, региональных и локальных изменений климата и ультрафиолетового излучения на окружающую среду Арктики. В настоящее время АМАП превратился в одну из ведущих организаций по этим вопросам.

По проекту СВИПА должна быть сделана новая комплексная оценка состояния криосферы Арктики и Субарктики за период с 2008 по 2011 гг. на фоне климатических изменений включая ледниковый щит Гренландии, горные ледники и ледовые шапки, морской ледяной покров и лед пресноводных водоемов, вечную мерзлоту и снежный покров. Намечалось обобщить современные научные знания для воссоздания картины происходящих изменений и для разработки механизмов адаптации к вызовам, связанным с изменениями климата в Арктике и Субарктике. Важная часть проекта СВИПА — оценка социально-экономических последствий воздействия климатических изменений и предложение мер по адаптации к ним. Ключевым моментом для подготовки новой оценки состояния криосферы северных районов явилось включение данных, полученных в МПГ-2007/08.

Проект СВИПА состоял из трех подпроектов: «Морской лед в условиях меняющегося климата», «Ледниковый покров Гренландии в условиях меняющегося климата» и «Климатические изменения в наземной криосфере», который, в свою очередь, состоял из четырех модулей: «Снег», «Вечная мерзлота», «Ледники и ледовые шапки», «Лед рек и озер».

Новый оценочный доклад Арктического совета о влиянии изменения климата на снег, воду, лед и вечную мерзлоту в Арктике был опубликован в конце 2011 г. [2]. Рассмотрим основные выводы, содержащиеся в оценочном докладе СВИПА и сопутствующих публикациях [3, 5].

**В Арктике становится теплее.** Последние шесть лет (2005—2010 гг.), которые анализировались в докладе, были самым теплым периодом в Арктике за всю историю наблюдений. Температура приземного слоя воздуха в Арктике с 2005 г. превышает среднюю температуру за любой пятилетний отрезок со времени начала измерений (около 1880 г.). Потепление Арктики происходит вдвое быстрее, чем в мире в целом. Данные исследований озерных донных отложений, годовых колец деревьев и ледяных кернов показывают, что летняя температура в Арктике превышает температуру, наблюдавшуюся когда-либо до того за последние 2000 лет. Были зафиксированы невиданные ранее аномалии в океанических течениях, в том числе большой приток в Северный Ледовитый океан теплых вод из Тихого океана. Эти изменения являются главными движущими силами изменений в криосфере Арктики.

Указывая на причину потепления в Арктике, авторы СВИПА ссылаются на выводы 4-го оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). В них указывается, что «...с высокой степенью вероятности (более 90%) можно утверждать, что рост концентраций антропогенных парниковых газов ответственен за большую часть глобального потепления, начиная с середины 20-го века».

**Два компонента арктической криосферы — снег и морской лед — взаимодействуют с климатической системой, ускоряя потепление.** Наибольший рост температуры в приземном слое атмосферы отмечен осенью в районах, где морской лед тает к концу лета. Предполагается, что море поглощает больше солнечной энергии в течение лета в связи с отсутствием ледяного покрова. Дополнительная энергия высвобождается осенью в виде тепла, что еще более способствует потеплению нижних слоев атмосферы в Арктике. На суше количество дней, когда сохраняется снежный покров, изменилось главным образом весной. Раннее таяние снега ускоряется более ранним и более сильным потеплением поверхности земли, которая более не имеет снежного покрова.

Эти процессы являются так называемыми обратными связями. Обратная связь для морского льда была предсказана учеными-климатологами ранее, однако убедительные доказательства этого были

получены в Арктике только в течение последних пяти лет. Были обнаружены и другие механизмы потенциальных обратных связей. Они могут внести изменения в скорость и даже направление климатических изменений и связанных с ними изменений в криосфере. Восемь из этих механизмов должны ускорять потепление, и лишь один — похолодание [3]. Интенсивность механизмов обратных связей криосферы и климата еще недостаточно определена количественно как в пределах Арктики, так и во всем мире. Это влечет за собой значительную неопределенность в прогнозировании изменений в криосфере и арктической природной среде.

**Область распространения и время существования снежного покрова и морского льда по всей Арктике значительно уменьшились.** Площадь арктической суши, покрытой снегом в начале лета, сократилась с 1966 г. на 18%. В прибрежных районах Аляски и на севере Скандинавии наблюдается значительное сокращение числа дней в году со снежным покровом. Эти изменения в значительной степени связаны с более ранним таянием снега зимой. Высота снежного покрова уменьшилась в североамериканской части Арктики, но при этом увеличилась на севере России.

За последние два-три десятилетия температура вечной мерзлоты повысилась на 2°C, особенно в более холодных районах (обычная температура вечной мерзлоты варьируется от -16°C до почти 0°C, в зависимости от местоположения). Глубина слоя почвы над вечной мерзлотой, которая оттаивает ежегодно в летние месяцы, возросла в Скандинавии, российской части Арктики, к западу от Урала и во внутренней части Аляски. Южная граница вечной мерзлоты в России в 1970—2005 гг. отступила на 30—80 км к северу и почти на 130 км за последние 50 лет в провинции Квебек.

Лед на озерах и реках вскрывается раньше, чем наблюдалось в прошлом. Изучение донных осадков озер высокоширотной Арктики указывает на то, что продолжительность существования ледового покрова на некоторых озерах значительно снизилась за последние 100 лет.

**Крупные массивы льда тают быстрее.** Суммарные потери массы ледникового покрова Гренландии, по новым оценкам, увеличились с примерно 50 млрд т в год в 1995—2000 гг. до 200 млрд т в 2004—2008 гг. На протяжении последних 100 лет почти все ледники и ледяные шапки уменьшились в размерах. Скорость исчезновения ледового покрова повысилась в большинстве регионов, но особенно в арктической части Канады и южной части Аляски. Общие потери массы ледников и ледяных шапок в Арктике превысили, возможно, 150 млрд т в год за последнее десятилетие, что сопоставимо с оценками потерь ледяного щита Гренландии.

**Уменьшение площади морского льда в Арктике за последнее десятилетие происходит быстрее, чем в предыдущие двадцать лет.** Уменьшение площади морского льда происходит быстрее, чем было предсказано моделями, использованными при подготовке 4-го оценочного

доклада МГЭИК. Площадь не растаявшего летом морского льда (многолетний лед) каждый год начиная с 2001 г. была равна или близка к рекордно низким уровням. В настоящее время это значение на треть меньше среднего значения для морского льда в период с 1979 по 2000 гг. Новые наблюдения показывают, что средняя толщина морского льда уменьшилась, и ледовый покров представлен в основном более молодым и более тонким льдом.

**Климатические модели предсказывают еще большие изменения.** Средние температуры в Арктике в осенние и зимние месяцы, даже если удастся сократить масштабы выбросов углекислого газа в атмосферу в течение ближайшего десятилетия, все равно поднимутся на 3—6°C к 2080 г. При этом климатические модели, использованные при подготовке доклада СВИПА, не включали влияние ответной реакции криосферной системы, которое может выразиться в дополнительных выбросах парниковых газов из арктической природной среды.

Прогнозируется, что количество осадков в виде снега и дождя увеличится в течение всего года, но особенно зимой. Несмотря на это, предполагается, что арктические территории станут более засушливыми в летнее время. Это связано с тем, что более высокая температура воздуха вызовет большее испарение воды, снег начнет таять раньше, и водный режим изменится.

При увеличении осадков в виде снега все прогнозы указывают на то, что высота максимального снежного покрова в зимний период будет увеличиваться во многих регионах. Наибольшее увеличение (15—30% к 2050 г.) ожидается в Сибири. Но даже в этом случае продолжительность существования снежного покрова к 2050 г. снизится максимум на 10—20%. Модели также предсказывают, что таяние вечной мерзлоты продолжится.

Прогнозируется, что в ближайшие десятилетия толщина морского льда и площадь распространения морского льда летом продолжат снижаться, несмотря на то что значительные колебания будут наблюдаться от года к году. Предполагается, что к середине столетия Северный Ледовитый океан окажется практически полностью свободным ото льда в летние периоды. Это значит, что больше не будет постоянного присутствия толстого многолетнего льда. Климатические модели прогнозируют снижение массы горных ледников и ледяных шапок на 10—30% к концу столетия.

Предполагается, что таяние ледяного щита Гренландии будет происходить быстрее, чем это происходит сейчас, однако в настоящее время не существует моделей, которые могли бы точно предсказать, как эти и другие массивы материкового льда Арктики отреагируют на прогнозируемые изменения климата. Это обусловлено тем, что до сих пор нет полного понимания динамики льда и комплексного взаимодействия между океаном, снегом, льдом и атмосферой.

**Изменения в криосфере вызывают фундаментальные изменения арктических экосистем.** Изменения в толщине и структуре снежного покрова оказывают влияние на почву, растения и животных. Некоторые виды, такие как короткоклювый гуменник, выиграют от уменьшения снежного покрова весной. Однако животные, которые пасутся на заснеженных пастбищах, пострадают, если дожди в зимнее время создадут на снегу ледяную корку. Такое явление все чаще наблюдается на севере Канады и в Скандинавии. Меньший снегозапас и более быстрое таяние снега являются причиной летней засухи в лесах, на заболоченных территориях и на озерах, питающихся талой водой. Таящая вечная мерзлота также ведет к осушению и высыханию заболоченных территорий в одних местах и их появлению в других.

Исчезновение ледяного покрова на реках, озерах и морях изменит животные и растительные сообщества, обитающие в водной среде. Исчезновение больших пространств, покрытых морским льдом, нанесет большой экологический ущерб видам, приспособленным к жизни на льду, в том числе белым медведям, тюленям, моржам, нарвалам и некоторым микробным сообществам. Многие животные, в том числе гренландские киты, зависят от мелких ракообразных, обитающих у морского льда. В данном источнике пищи произойдут изменения, если граница льда отступит.

Подобные изменения в экосистемах окажут прямое воздействие на водоснабжение, поставки рыбы и леса, традиционное питание и пастбищные угодья, используемые жителями арктических территорий. Например, предполагалось, что популяции субарктических и арктических видов рыбы (включая ценные промысловые) могут измениться, если морской лед отступит. Неопределенность в отношении снабжения живыми природными ресурсами делает затруднительным планирование на будущее.

Таяние вечной мерзлоты может оказать положительное воздействие на лесные массивы в тех районах, где достаточно воды для роста деревьев, однако насекомые-вредители создают все больше проблем. Численность некоторых животных, являющихся объектами охоты, таких как тюлени и моржи, снижаются по мере изменения условий обитания. Другие мигрируют на новые места обитания, поэтому охотникам приходится преодолевать большие расстояния.

**Изменения криосферы влияют на источники существования и условия жизни в Арктике.** Доступ к северным территориям по морю облегчается летом, когда морской лед исчезает, что создает условия для более активного судоходства и хозяйственной деятельности. Нефтегазовая деятельность на шельфе получит преимущества в связи с более продолжительным периодом, когда море не покрыто льдом, однако могут возрасти угрозы, связанные с айсбергами, что будет обусловлено возрастанием их количества. Сокращение пространств, покрытых морским льдом,

создает проблемы для местных жителей, которые используют лед для перемещений и охоты, так как им придется преодолевать большие расстояния по ненадежному льду в более опасных условиях.

На суше доступ ко многим местам станет более затруднительным, когда зимние ледяные дороги будут раньше оттаивать и позже замерзать, и по мере деградации вечной мерзлоты. Промышленная эксплуатация, связанная с зимниками, потребует концентрации перевозок большегрузным транспортом в наиболее холодный период года. Более короткие периоды, когда могут быть использованы ледяные и снежные дороги, сильно затронут местные общины, которые пользуются наземным транспортом для транспортировки грузов, чтобы поддерживать разумные цены на товары и обеспечить рентабельность, особенно на севере Канады и России. Некоторые материковые области становятся более доступными для горнодобывающей промышленности по мере того, как ледники и ледовые шапки отступают.

Таяние вечной мерзлоты в некоторых регионах увеличит опасность деформации зданий, дорог, взлетно-посадочных полос и других технических сооружений, чему также будет способствовать невысокое качество проектирования в прошлом. Здания и иная инфраструктура подвергаются рискам, связанным с возрастающей снеговой нагрузкой и наводнениями, являющимися следствием ледовых заторов на реках или внезапных сбросов воды из ледниковых озер.

Более 60% арктической береговой линии скреплено и защищено льдом. Если припайный лед будет разрушаться раньше, а вечная мерзлота деградирует, может наблюдаться быстрая эрозия. Вдоль береговой линии морей Лаптева и Бофорта зафиксированная скорость отступления береговой линии вглубь суши достигла более двух метров в год. На Аляске некоторые поселения инуитов готовятся к эвакуации на случай наступления моря.

В краткосрочной перспективе увеличивающееся таяние ледников создает новые возможности для гидроэнергетики, что несет в себе потенциальную выгоду для промышленности. В более долгосрочной перспективе объем талой воды уменьшится по мере сокращения площади ледников, что, вероятно, окажет отрицательное влияние на производство электроэнергии.

Таяние льда и снега вызовет выброс загрязняющих веществ, которые хранились в них долгие годы, что позволит загрязнителям вновь попасть в окружающую среду. Воздействие загрязняющих веществ, которые накапливаются в пищевых цепях, на людей и высших млекопитающих может еще более возрасти.

Растущая доступность Арктики создает новые экономические возможности. Растет популярность круизного туризма. Все больше людей приезжают посмотреть на последствия изменения климата для арктических ледников, например, для ледника Илулисат в Гренландии. Возросший поток туристов может стать проблемой для традицион-

ного уклада жизни местных сообществ и уровня предоставления услуг, а также повысит требования к эффективности инфраструктуры (например, к авиационному обслуживанию, навигационному оборудованию и другим мерам по обеспечению безопасности). Исчезновение арктической природы и изменение ландшафтов может оказать отрицательное воздействие на индустрию туризма в долгосрочной перспективе.

**Изменения в криосфере Арктики оказывают влияние на климат земного шара и уровень океана.** Сокращаясь, снежные и ледовые поверхности, отражающие значительную часть света, уступают место более темным поверхностям земли или океана, поглощающим больше солнечной энергии. Это усиливает прогревание почвы и воздуха. Существуют свидетельства, что подобные процессы происходят в Северном Ледовитом океане по мере отступления морского льда, а также на суше, где таяние снега начинается раньше. Это может вызвать значительное увеличение выбросов в атмосферу метана и углекислого газа в Арктике в связи с нагревом почвенных и пресноводных систем и таянием многолетнемерзлых почв на морском дне. Совокупное воздействие этих эффектов на глобальный климат пока не поддается прогнозу.

Поступление пресной воды в Северный Ледовитый океан из всех основных источников, к которым относятся речной сток, осадки в виде снега/дождя, тающие ледники и ледниковые шапки, а также ледяной щит Гренландии, возрастает. Согласно расчетам в Северный Ледовитый океан в последние годы поступило дополнительно 7700 км<sup>3</sup>, что эквивалентно покрытию глубиной в один метр всей территории Австралии. Существует риск изменения системы основных океанских течений, которые влияют на климат в масштабе континентов.

Тающие ледники и ледниковые щиты вносят наибольший вклад в подъем уровня Мирового океана. Арктические ледники, ледниковые шапки и ледяной покров Гренландии обеспечили 1,3 мм из общего ежегодного подъема уровня Мирового океана на 3,1 мм в 2003—2008 гг., что составляет более 40%. Таким образом, вклад Арктики в подъем уровня Мирового океана оказался гораздо больше, чем предполагалось прежде. В оценках будущего уровня Мирового океана существует большая неопределенность. Последние модельные расчеты дают рост на 0,9—1,6 м к 2100 г. по сравнению с наблюдавшимся в 1990 г.

**Изменения в криосфере Арктики окажут воздействия на весь мир.** Подъем уровня моря — одно из наиболее серьезных последствий изменения криосферы для общества. Более высокий средний уровень моря и более разрушительные штормы окажут прямое негативное воздействие на миллионы жителей низменных прибрежных территорий. Подъем уровня моря увеличит риск затопления таких густонаселенных прибрежных городов, как Шанхай и Нью-Йорк.

С другой стороны, экономическая деятельность

в глобальном масштабе может получить преимущества в результате криосферных изменений в Арктике, например, открытие трансполярных морских путей через Северный Ледовитый океан на 40% сократит для судов расстояние между Европой и Тихим океаном по сравнению с нынешними маршрутами, что сократит выбросы в атмосферу и энергопотребление.

Некоторые уникальные арктические виды животных, такие как нарвалы, столкнутся с конкретными угрозами при криосферных изменениях. Сокращение мест обитания, связанных с криосферой, таких как морской лед, водно-болотные угодья в районах вечной мерзлоты, окажут влияние на мигрирующие виды млекопитающих и птиц по всему миру. Эти отрицательные воздействия на биоразнообразие имеют глобальное значение.

**Необходима срочная адаптация на всех уровнях.** Изменения в криосфере в первую очередь влияют на население на местном уровне, поэтому местные сообщества будут вынуждены разработать стратегии для реагирования на возникающие риски. На национальном и региональном уровнях адаптация требует руководства со стороны правительств и международных организаций для принятия новых законов и нормативных актов. Например, новый режим рыболовства будет необходим по мере изменения рыбных запасов. Новые стандарты должны быть разработаны для строительства, особенно в регионах, где происходит таяние вечной мерзлоты.

Государства должны будут вкладывать средства в транспортную инфраструктуру в связи с более коротким периодом использования зимних дорог. Должны быть внесены изменения в проведение поисково-спасательных операций в качестве реакции на растущий трафик и возрастающие риски на море, а также для обеспечения безопасности судоходства будут необходимы точные прогнозы погоды и состояния моря.

Арктические сообщества мобильны и будут активно реагировать на изменения в криосфере. Однако высокая скорость изменений может превзойти способность к адаптации. Необходимы знания и исследования, чтобы предсказать, как могут измениться условия жизни, и оценить возможные варианты адаптации. В этом отношении интересы коренного населения требуют пристального внимания.

Изменения в криосфере являются движущей силой изменений не только в Арктике. Изменения криосферы и климата происходят в контексте социальных изменений, которые могут представлять собой даже большие проблемы. При разработке стратегий адаптации должна учитываться совокупность социальных, климатических и криосферных изменений.

**Необходимо быстрое сокращение выбросов парниковых газов.** Изменения климата представляют собой актуальную и потенциально неотвратимую угрозу для людских сообществ. Глобальные исследования климата с использованием модели-

рования показывают, что для обеспечения роста глобальной средней температуры в пределах 2°C по сравнению с доиндустриальным уровнем необходимо резкое и повсеместное снижение выбросов парниковых газов. Борьба с антропогенным изменением климата является общей насущной проблемой для мирового сообщества, требующей принятия мер в мировом масштабе и международного участия.

В соответствии с докладом АСИА [1] министры Арктического совета признали, что в отношении глобальных выбросов необходимы своевременные взвешенные и согласованные действия. Они одобрили ряд рекомендаций в отношении политики, направленной на ограничение выбросов парниковых газов, и приняли стратегии, предполагающие меры в отношении выбросов парниковых газов и ограничивающие их в долгосрочной перспективе до уровней, соответствующих конечной цели Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Основные выводы доклада СВИПА, в частности, о высокой и растущей скорости изменения криосферных условий в Арктике, еще раз подчеркивают необходимость более сильных срочных мер в этом направлении.

**Неопределенность может быть снижена продолжающимися исследованиями.** Результаты текущего мониторинга, исследований и моделирования с высокой степенью достоверности указывают на то, что в криосфере Арктики происходят значительные изменения, которые продолжатся в будущем. Некоторые изменения совпадают с прогнозами, однако реакция морского льда оказалась быстрее той, которую прогнозировали всего лишь пять лет назад. Но даже в этом случае остается значительная доля неопределенности, особенно в отношении времени изменений в будущем и влияния взаимодействия (ответных реакций) между компонентами криосферы и климатической системы.

Для снижения неопределенности будущих оценок необходимы более надежные сети наблюдений. Измерения со спутников и летательных аппаратов повысили возможности наблюдения за некоторыми элементами криосферы Арктики, такими как распространение морского льда и снежный покров. Мониторинг других ключевых элементов криосферы, в частности, толщины морского льда, высоты снежного покрова, вечной мерзлоты и ледников, требует наблюдений с помощью наземного оборудования [4].

Многие наземные гидрометрические сети по наблюдению за снежным покровом, пресноводным льдом и осадками были сокращены или полностью потеряны, а объекты по наблюдению за морским льдом, материковым льдом и физическими свойствами снега расположены на больших расстояниях друг от друга. Наблюдательные сети должны быть расширены для получения надежных данных о криосфере, которые необходимы для мониторинга, усовершенствования моделей и оценки качества спутниковых наблюдений.

В отчете определены важнейшие вопросы, на которые до сих пор нет ответа:

- что произойдет с Северным Ледовитым океаном и его экосистемами, если к пресноводному стоку прибавится тающий лед и возросший речной сток?
- как быстро может растаять ледяной щит Гренландии?
- как изменения в криосфере Арктики повлияют на климат земного шара?
- как изменения повлияют на население и экономику Арктики?

Ответы на эти вопросы требуют усовершенствованных наблюдательных сетей. Необходимо лучшее понимание сложного взаимодействия физической, химической и биологической среды в Арктике. Существует нехватка систематически собираемой информации о влиянии криосферных изменений на человеческое общество.

Таким образом, доклад «Снег, вода, лед и вечная мерзлота в Арктике» подтвердил важность изменений в снежном покрове, морском и материковом льде Арктики, вызванных климатическим воздействием, и их глубоких последствий для местного, регионального и мирового сообщества. Совокупность влияния изменяющейся криосферы, изменений климата и быстрого освоения Арктики создает политические вызовы для арктических сообществ, а также для мирового сообщества. Традиционный уклад жизни наиболее уязвим при изменениях в криосфере. Необходимо сотрудничество и скоординированные усилия на всех уровнях для реагирования на изменения и повышение способности к адаптации экосистем и населения Арктики.

Доклад «Снег, вода, лед и вечная мерзлота в Арктике» будет использован при создании новой версии «Оценочного доклада об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации», которая готовится в настоящее время Росгидрометом и Российской академией наук. Выводы доклада СВИПА также важны при планировании конкретных мероприятий «Стратегической программы действий по охране окружающей среды Арктической зоны Российской Федерации».

## Литература

1. Arctic Climate Impact Assessment / ACIA. — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2005. — 1042 p.
2. Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) / Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). — Oslo: F. L. Miller and S. J. Barry, 2011.
3. Callaghan T. V., Johansson M., Key J. et al. Feedbacks and interactions: From the Arctic cryosphere to the climate system // *Ambio*. — 2011. — Vol. 40. — P. 75—86. — doi:10.1007/s13280-011-0215-8.
4. Key J., Bøggild C. E., Sharp M. et al. Observational needs and knowledge gaps for the cryosphere // *Snow, Water, Ice...* — P. 11-33—11-41.
5. Olsen M. S., Callaghan T. V., Reist J. D. et al. The Changing Arctic Cryosphere and Likely Consequences: An Overview // *Ambio*. — 2011. — Vol. 40. — P. 111—118. — doi: 10.1007/s13280-011-0220-y.