

A photograph of three reindeer swimming in a body of water. The reindeer in the center is light-colored with dark patches around its eyes. The reindeer on the right is brown. The reindeer in the foreground is also brown and is looking towards the camera. The water is blue with some ripples.

11 | АРКТИКА



Потепление быстрее глобального

За последние 10 лет потепление в северной полярной области (выше 60°с.ш.) идет примерно в 4 раза быстрее, чем в мире в целом

- ✓ Усиление обратных связей, в частности:
 - ❖ больше открытой воды или земли без снега, больше поглощение солнечного излучения (а не отражения белым льдом или льдом), поверхность теплее, теплее воздух, еще меньше снега и льда и т. д.
 - ❖ больше открытой воды и теплее, больше испарение, больше облаков, теплее, больше открытой воды, больше волн, больше ядер конденсации для облаков и др.
- ✓ Поступление более теплой воды из Атлантики и Тихого океана
- ✓ **Ускоренное потепление Арктики не временное явление, а долгосрочный тренд**



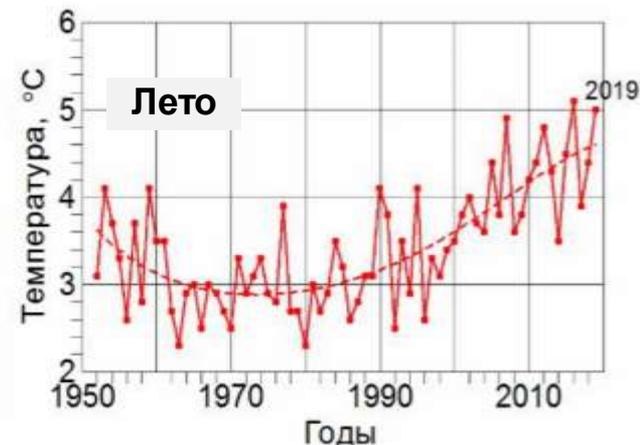
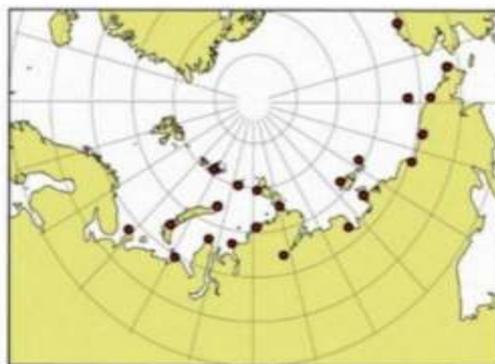
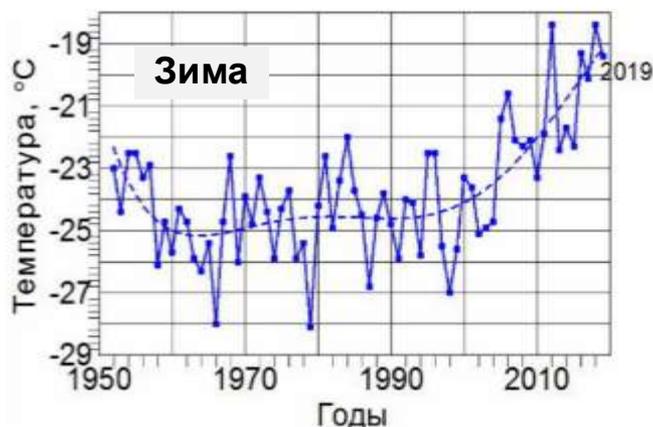


Потепление: Российская Арктика

За последние 40 лет – рекордное для всей Арктики потепление весны и осени в восточном секторе Российской Арктики (РА)

- ✓ За 40-45 лет, среднегодовая температура – рост на 3-4⁰С, по календарным сезонам:
 - ❖ Лето: +1,5-2⁰С, равномерно по всей РА, не сильнее, чем в России в целом
 - ❖ Зима: +3-5⁰С, в Якутии гораздо меньше, а на арктических островах больше
 - ❖ Осень и весна: в восточном секторе РА до +5-7⁰С, в западном +1,5-2⁰С (в бассейне Карского моря сильнее и гораздо больше, чем в бассейне Баренцева)
- ✓ Температура воздуха в морях и на островах по трассе Северного морского пути: рост на 2-6⁰С, но гораздо больше зимой, чем летом
- ✓ Характерна очень большая межгодовая изменчивость

Средняя температура воздуха в акватории арктических морей по данным 22 станций





Морской лед и осадки

Лед стал сильно слабее арктическим летом, но не зимой

- ✓ Сильное уменьшение площади льда арктическим летом (июль – сентябрь), но не зимой
- ✓ **Во все сезоны лед гораздо слабее в западном секторе Российской Арктики, но не в восточном**
- ✓ Характерна большая межгодовая изменчивость

Изменение площади морского льда, проценты от среднего уровня в 1981-2010 гг.



- ✓ Изменения осадков гораздо меньше, чем температуры и ледового покрова, но в восточном секторе Российской Арктики отмечается тенденция на снижение ежегодного количества осадков, особенно в акватории Восточно-Сибирского моря

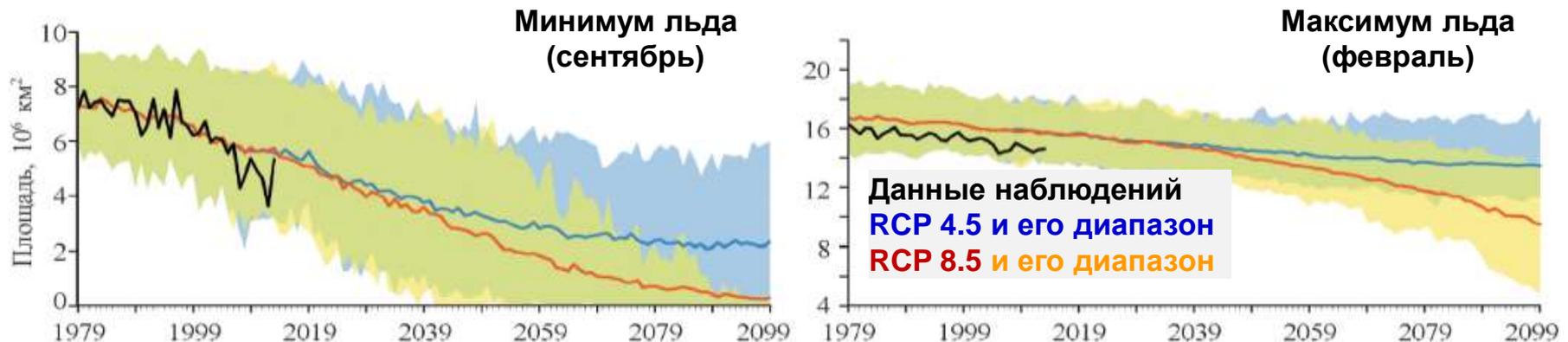


Прогноз морского льда

Площадь льда уменьшается, но навигационный период растет медленно

- ✓ Арктика, летом свободная от льда, впервые может быть в отдельные 2040-е годы, чаще в 2060-е. По сценарию максимальных глобальных выбросов (RCP 8.5) к концу века лето всегда без льда. По умеренному сценарию (RCP 4.5) лишь в отдельные годы
- ✓ Площадь льда зимой до середины века практически неизменна, далее по RCP 8.5 слабо снижается, по RCP 4.5 не снижается
- ✓ **Навигационный период СМП: не ожидается продолжения быстрого роста (за 40 лет с 50-70 до 90-130 дней), в 2040-е 100-160 дней, к концу века 120-180 дней (при росте глоб. темп. на 2,5°C за XIX в.). Рост «тормозится» восточным сектором.**
- ✓ **Для ледовой обстановки вероятна очень большая межгодовая изменчивость**

Изменение площади морского льда по сценариям **максимальных** и **умеренных** глобальных выбросов парниковых газов, средние значения и диапазон 10-90% вероятности

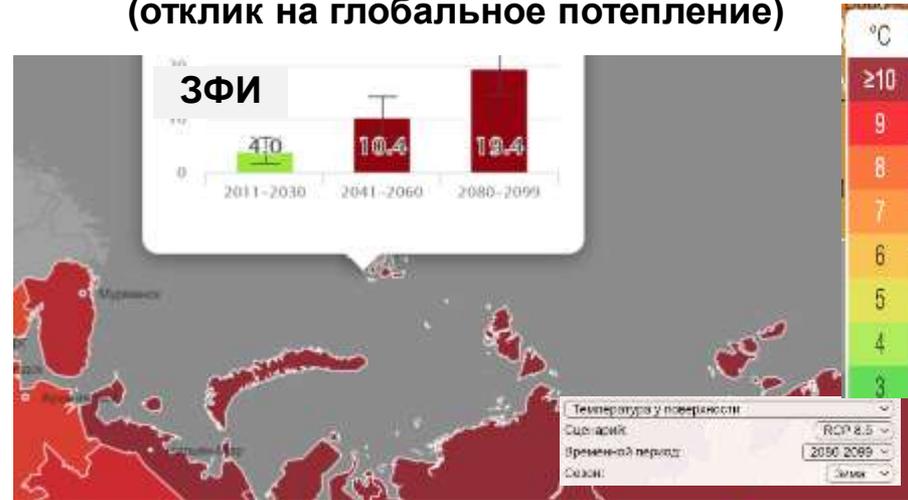




Прогноз температуры и осадков

- ✓ Температура и осадки по календарным сезонам; 2011 – 2030, 2041-2060 и 2080-2099 гг. Отдельно для Новой Земли, ЗФИ, Северной Земли, Новосибирских о-вов.
- ✓ Во второй половине века сильная зависимость от сценария мировых выбросов парниковых газов (худший RCP8.5 - к 2100 г. глобальное потепление на $\sim 4,5^{\circ}\text{C}$, умеренный RCP 4.5 - $\sim 2,5^{\circ}\text{C}$).
- ✓ **Зима теплеет сильнее всего, осень и весна слабее, лето лишь на $2-5^{\circ}\text{C}$ (2100 г.)**

Карта прогнозов Климатического центра Росгидромета на XXI век, от средних в 1981-2000 гг. (отклик на глобальное потепление)



cc.voeikovmgo.ru/ru/klimat/izmenenie-klimata-rossii-v-21-veke

- ❖ По RCP 8.5 зима к концу века на $15-17^{\circ}\text{C}$ теплее (ЗФИ на 20°C , возможно на 25°C)
- ❖ Весна и осень: к середине века на $4-6^{\circ}\text{C}$, к концу века на $8-12^{\circ}\text{C}$ теплее 1981-2000 гг.
- ❖ Лето теплеет слабо, меньше побережья материка (кроме Новой Земли, где как в НАО)
- ❖ По RCP 4.5 рост всех температур к середине века меньше на 20-30%, к концу века почти в 2 раза меньше
- ✓ **Рост осадков (везде и во все сезоны), особенно во второй половине века**
 - ❖ Значительное увеличение осадков в основном осенью и зимой
 - ❖ По худшему сценарию возможен рост среднегодовых осадков на 50%, по умеренному сценарию рост в 2 раза меньше.



Вечная мерзлота

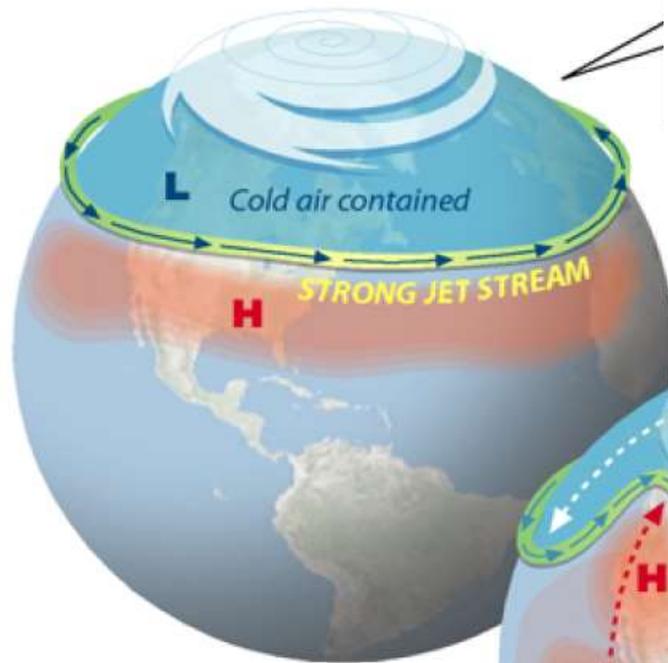
- ✓ Наблюдается рост толщины слоя летнего протаивания, как правило, на 3-15 см/10 лет. Сильная зависимость от состава почвогрунтов и наличия под землей льда
- ✓ В середине века площадь мерзлоты вероятно будет на 25-30% меньше, чем в конце XX века. К концу века при максимальных глобальных выбросах сокращение - 60%, при умеренных выбросах -35%
- ✓ **Таяние мерзлоты ведет к эмиссии CO₂ и метана**, пока эти потоки невелики, примерно 1-2 млрд т CO₂ в год, но **в будущем, особенно в XXII веке могут стать глобальной проблемой**
- ✓ **Глобальной проблемой будущего может стать разрушение метангидратов** и утечки метана за месторождений на мелководном шельфе восточного сектора Российской Арктики. Сейчас поток оценивается в 50-300 млн тCO₂-экв./г. Пока не ясно, насколько поток усиливается и какими он может стать к концу XXI века и в последующие столетия
- ✓ Усиливается береговая эрозия, грунты мягче, льда меньше, штормов больше





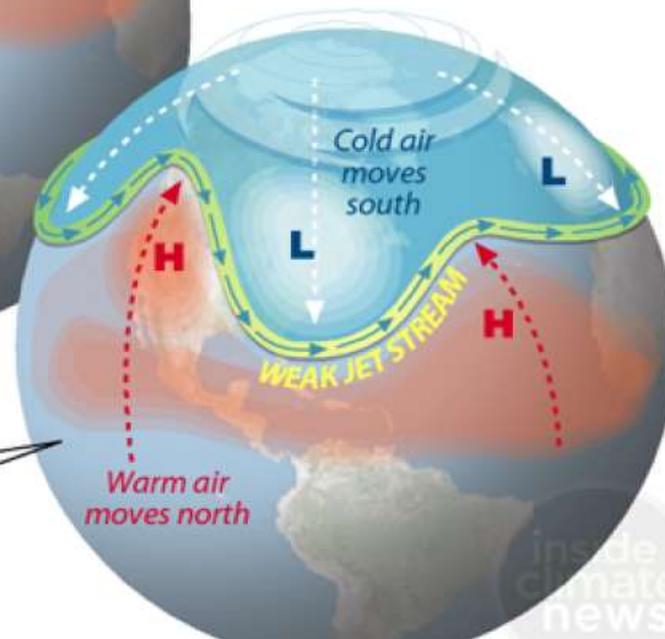
Теплая Арктика сильнее влияет на умеренные широты

Холодная Арктика



Большая разница температур удерживает сильную круговую циркуляцию. Холодный воздух не покидает Арктику

Теплая Арктика



Ослабление и «шатание» круговой циркуляции. Движения воздуха в меридиональном направлении

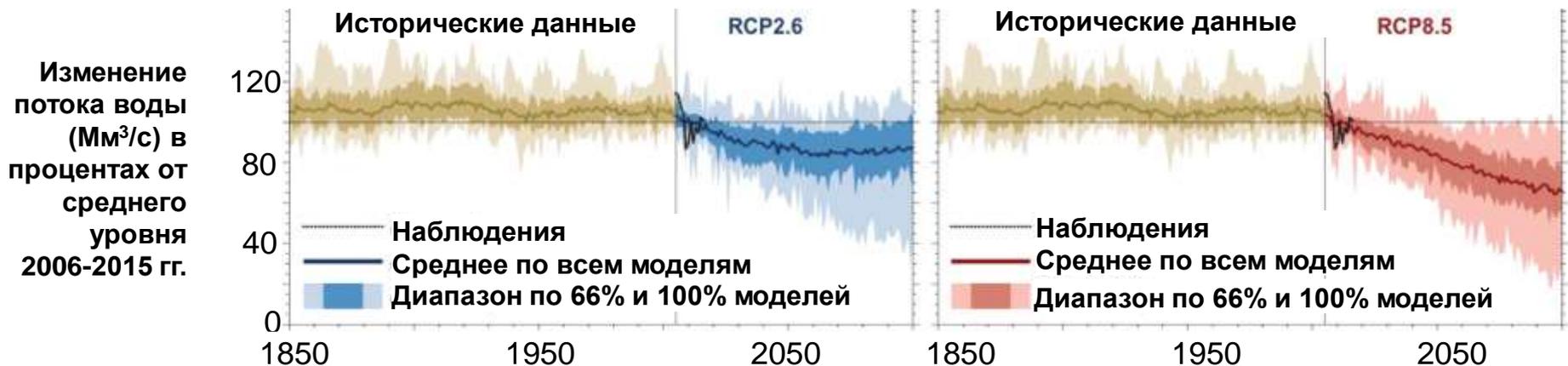
- ✓ Вторжения холодного воздуха с севера, а жаркого с юга
- ✓ Пример прямой связи глобального потепления и большего числа аномальных температур
- ✓ Эти эффекты будут оказывать влияние на жизнь сотен миллионов, а затем миллиардов людей; будут усиливать рост опасных метеорологических явлений



Ослабление «Гольфстрима»

- ✓ «Гольфстрим» (Атлантическая меридиональная циркуляция- АМОС): наблюдения и прогноз говорят о постепенном ослаблении, но не об остановке движения вод (коллапсе)
- ✓ Сильная зависимость от сценария выбросов парниковых газов. При максимальных выбросах в конце XXI века и далее в XXII веке значительные изменения
- ✓ В западном секторе Арктики похолодание, но только *по сравнению* с прогнозом сильного потепления. Будет ли холоднее, чем сейчас сказать невозможно
- ✓ В будущем возможны значительные негативные эффекты, охватывающие гораздо большие территории, чем непосредственно находящиеся под влиянием АМОС

Прогноз изменений Атлантической меридиональной циркуляции вод при минимальных (RCP 2.6) и максимальных (RCP 8.5) глобальных выбросах парниковых газов





Белый медведь

- ✓ Лда меньше, кромка льда и тюлени теперь быстрее уходят от берега. Многие медведи остаются на берегу, отрезанными от тюленей
- ✓ Медведи могут охотиться на моржей, есть и другая пища. Но проще пойти в поселки и на помойки. Неизбежны конфликты с человеком
- ✓ Проблема возникла на Чукотке, но сейчас дошла до НАО и Новой Земли. медведи появляются там, где ранее их почти не было
- ✓ Решение: никаких отходов, загрязнения, средства отпугивания и мирного решения конфликтов, понимание, что медведь приспособится, но мы должны ему помочь
- ✓ Работают бригады WWF «Медвежий патруль», призванные мирно решать конфликты, а также очистить поселки от отходов. Разрабатываются новые загрязнения и средства отпугивания. Важно понимание проблемы всем населением Арктики



© Алексей Кокорин / WWF России



Моржи и тюлени

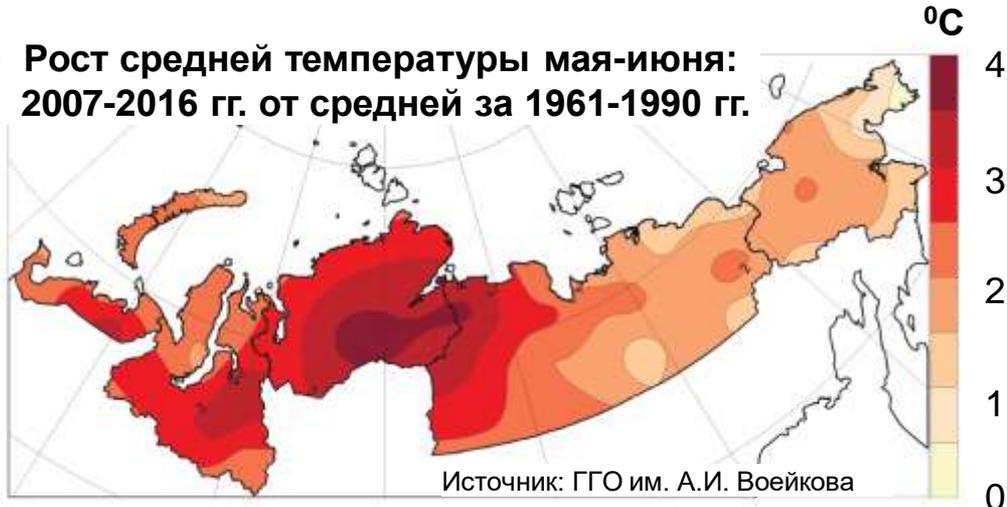
- ✓ Уменьшение длительности ледового периода, на 15-20 дней каждые 10 лет, заставляет моржей перемещаться со льда на сушу, на новые лежбища, чреватые опасностями и гибелью молодняка
- ✓ Шум от судна, от разведки углеводородов, резкое появление людей провоцирует бегство во воду, когда взрослые давят молодняк
- ✓ Решение: мониторинг перемещений и лежбищ моржа в сочетании с устранением факторов беспокойства: движения судов и разведки запасов углеводородов, посещения лежбищ туристами; важно не допустить и разливов нефти
- ✓ Более слабый лед или даже его отсутствие, весенние дожди - очень большая проблема для тюленей в Балтийском и Белом морях, грозящая им вымиранием





Дикий северный олень

✓ За 20 лет в 2 раза сократилась самая большая Таймырская популяция оленя. К браконьерству добавился «климат», именно там весна потеплела в особенно сильно. Оттаивают болота, слабее лед, реки вскрываются раньше, что создает проблемы для миграции, гибели оленят на переправах.



- ✓ Чередование оттепелей и морозов, приводит к образованию ледяных корок, не дающих оленям добраться до корма. Теперь это случается гораздо чаще, особенно, в НАО и ЯНАО. По мере потепления проблема ледяных корок охватит всю Арктику
- ✓ К климатическим проблемам олени постепенно смогут приспособиться, если убрать главную беду – браконьерство. Решение - кардинальное усиление охраны природы
- ✓ Прямая помощь тоже уместна, от перевоза оленят через реки до подкормки животных
- ✓ Особое внимание нужно малым популяциям: лесному северному оленю в Архангельской области, Тиманской популяции в НАО, аборигенному подвиду на Новой Земле



Резюме на XXI век

Изменения климата для Арктики значительно более негативны, чем позитивны

- ✓ **Здоровье:** температурно-обусловленная смертность снизится, но растет риск инфекционных заболеваний: клещевого энцефалита, малярии, сибирской язвы и др.
- ✓ **Растительность:** тундра зеленеет, рост продуктивности и продвижение лесов на север, но растет пожарная опасность, риск распространения вредителей и болезней леса
- ✓ **Фауна:** большие проблемы у «харизматических» видов Арктики: белого медведя, моржа, северного оленя, в Белом море возможно исчезновение тюленей
- ✓ **Морское рыболовство:** широкий спектр эффектов и оценок, прогнозы делать рано
- ✓ **Инфраструктура:** растущие проблемы дорог и переправ, особенно зимних; проблемы зданий и сооружений на тающей вечной мерзлоте; усиливающаяся береговая эрозия
- ✓ **Северный морской путь:** более легкая ледовая обстановка, но в восточном секторе возможности безледокольного судоходства будут расти очень медленно

Очень важно, чтобы глобальные выбросы парниковых газов были минимальны

Влияние изменений климата на население, инфраструктуру и природу:

кратко см. урок для школьников «Изменение климата в России» [изменениеклимата.рф](#),

детально см.: лекции «Адаптация к изменениям климата» и «Лес и климат» на сайтах WWF и САФУ.

Источники: Изменения климата Арктики: место климатической науки в планировании адаптации Климатический центр Росгидромета. 2017. http://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2019/Arctica_print.pdf Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории РФ, Росгидромет. 2014, стр. 486-487 <http://www.meteorf.ru/product/climat/> IPCC, 2019: Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. [https://www.ipcc.ch/srocc/home/_NOAA Arctic Report Card 2019](https://www.ipcc.ch/srocc/home/_NOAA%20Arctic%20Report%20Card), www.arctic.noaa.gov/report-card