

Сбор и обработка гидрометеорологических данных; анализ данных об изменениях климата Карского региона.

Источником была информация, предоставляемая ВНИИГМИ-МЦД, другие открытые электронные источники, а также личные архивы сотрудников НИЛ геоэкологии Севера. По этим данным было проведено восстановление многолетних рядов температуры, скорости и направления ветра на станции Марресале. Данные срочных наблюдений на станции Марресале на сайте ВНИИГМИ - МЦД доступны лишь до августа 2016 года, поэтому основные ряды данных удалось рассчитать лишь до 2015 года, поскольку полные данные за 2016 и 2017 год выкладываются с запозданием и пока недоступны.

Кроме того, осуществлялась оценка изменения продолжительности динамически активного (безледного) периода на ГМС Марре-Сале; составлялись таблицы сроков начала и конца безледного периода и формирования припая; по литературным данным моделирования CFSR оценивалась энергия волн в узлах модели, ближайших к ГМС Марресале и трем ключевым участкам исследования динамики берегов; по литературным данным изучались изменения уровня моря в Байдарацкой губе.

Также по результатам анализа спутниковых данных было рассчитано изменения площади льда в Карском море. При работе использовались данные NOAA (исходные данные: https://nsidc.org/data/seaice_index, ссылка на источник <ftp://sidacs.colorado.edu/DATASETS/NOAA/G02135/>). Для сравнения были выбраны данные по средней площади льдов в сентябре, как в наименее ледовитом месяце. В программе ArcGIS 10.1 была посчитана средняя площадь распространения морских льдов в пределах акватории Карского моря в сентябре каждого года. Границы Карского моря были взяты из публикации: *Limits of Oceans & Seas, 1953*. Также были использованы данные спутниковых наблюдений за морскими льдами ААНИИ (ЕСИМО); полученные значения по данным NOAA и ААНИИ сравнивались между собой.

Результаты

Итогом сбора и первичной обработки гидрометеорологических сведений стали массивы данных о температуре, скорости и направлении ветра и других параметрах по данным срочных наблюдений на ГМС Марресале. Была проведена оценка изменения температурного режима, построены графики среднегодовых температур (рис. 1). Установлено, что с 1978 г. произошло увеличение среднегодовых температур воздуха на более, чем 2°C. Локальный минимум среднегодовых температур на фоне общей тенденции к их росту наблюдался с 1997 по 2002 г. Потепление последних лет, в особенности 2012-2013 и 2015-2016, было наиболее интенсивным; к примеру, среднегодовые температуры воздуха самого теплого, 2016, года превышали -4°C.

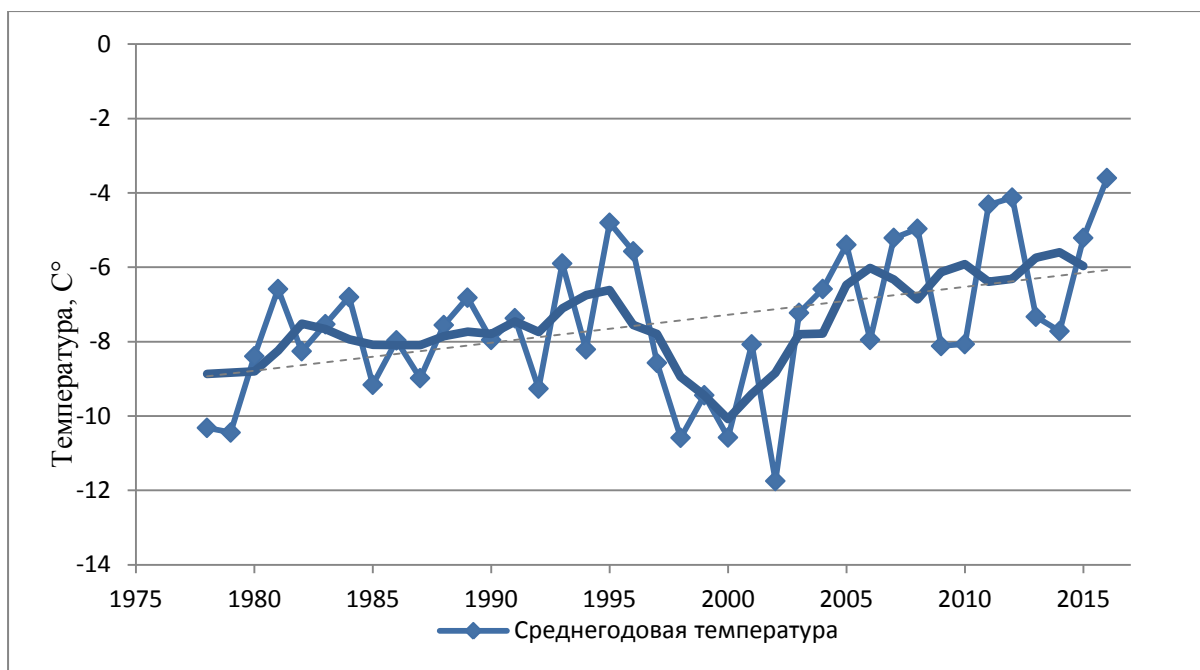


Рис. 1. Изменения среднемноголетней температуры воздуха на ГМС Марресалья с 1978 по 2016 гг. Полуужирной линией показаны значения 5-летнего скользящего среднего; пунктиром показана линия тренда с 1978 по 2016 г.

Получены оценки изменения энергии волн в район ГМС Марресалья и Харасавэя и обоих берегов Байдарацкой губы (рис. 2); выделены повышенной (1990 е гг., с 2005 по н.вр.) и пониженной энергии (1999-2004); по данным о скорости, направлении ветра, продолжительности безледного периода и длина разгона волн рассчитаны изменения ветроволновой энергии (см. п.2).



Рис. 2. Суммарная энергия волн по годам: 1 - ячейка модели, ближайшая к ГМС Марресале и пос. Харасавэй; 2 - ячейка модели, ближайшая к Уральскому и Ямальскому берегам Байдарацкой губы.

Также по литературным данным проведена оценка изменения уровня моря в районе западного Ямала. Установлено, что уровень моря на западном побережье Ямала, как и во всем мире, поднимается, несмотря на то, что скорости среднемноголетнего

повышения уровня моря ниже среднемировых (Ашик и др., 2010). К примеру, в районе Харасавэя за период с 1950 по 1975 гг. средняя скорость подъема уровня моря составила 0,9 мм/год (Отчет..., 2002). В условиях криолитозоны даже незначительный подъем уровня моря приводит к усилению термоабразии и необратимому отступанию берегов, поскольку из-за постоянного таяния берегового уступа и мерзлых пород под подводным береговым склоном не может выработаться профиль динамического равновесия. При дальнейшем росте уровня моря скорости термоабразии будут увеличиваться.

Для ГМС Марресала проведена оценка продолжительности безледного периода: построены таблицы сроков формирования припая (таб. 1), графики продолжительности безледного периода (рис. 3, 4). Проведен анализ изменения продолжительности безледного периода в XX-начале XXI века. Установлено, что после относительно высоких значений длительности динамически активного периода в 1940х - 1950х годах (в среднем, до 90 дней), его продолжительность сократилась в 1960х-1970х (в среднем, ниже 70 дней), а затем, с 1970х, начался рост длительности безледного периода, продолжающийся и по сей день. Среднемноголетние его значения на настоящий момент достигли 100 дней; в отдельные годы в начале 2000х безледный период длился более 120 дней. Таким образом, с каждым годом растет время воздействия морских волн на береговые уступы, сложенные многолетнемерзлыми породами.

Таб. 1. Сроки формирования припая на ГМС Марресала

Год	Дата начала формирования припая
1978	6 октября
1979	12 октября
1980	30 октября
1981	27 октября
1982	9 октября
1983	29 октября
1984	9 октября
1985	26 октября
1986	15 октября
1987	23 октября
1988	22 октября
1989	22 октября
1990	8 октября
1991	24 октября
1992	9 октября
1993	22 октября
1994	27 октября
1995	1 ноября
1996	5 ноября
1997	2 ноября
1998	16 октября
1999	18 октября
2000	26 октября
2001	20 октября
2002	6 ноября

2003	28 октября
2004	2 ноября
2005	26 ноября
2006	19 октября
2007	5 ноября
2008	9 ноября
2009	29 октября
2010	11 ноября
2011	4 ноября
2012	5 ноября
2013	26 октября
2014	27 октября
2015	11 ноября
2016	14 ноября

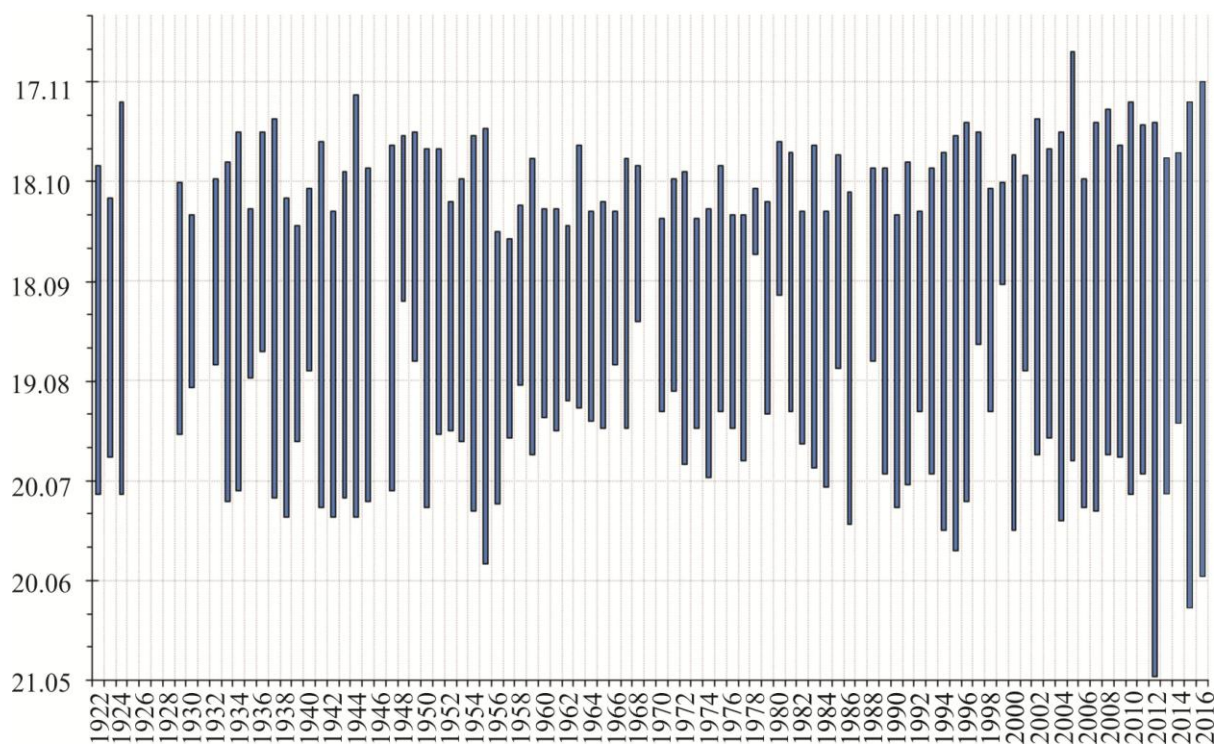


Рис. 3. Сроки начала и конца безледного периода на ГМС Марресалья

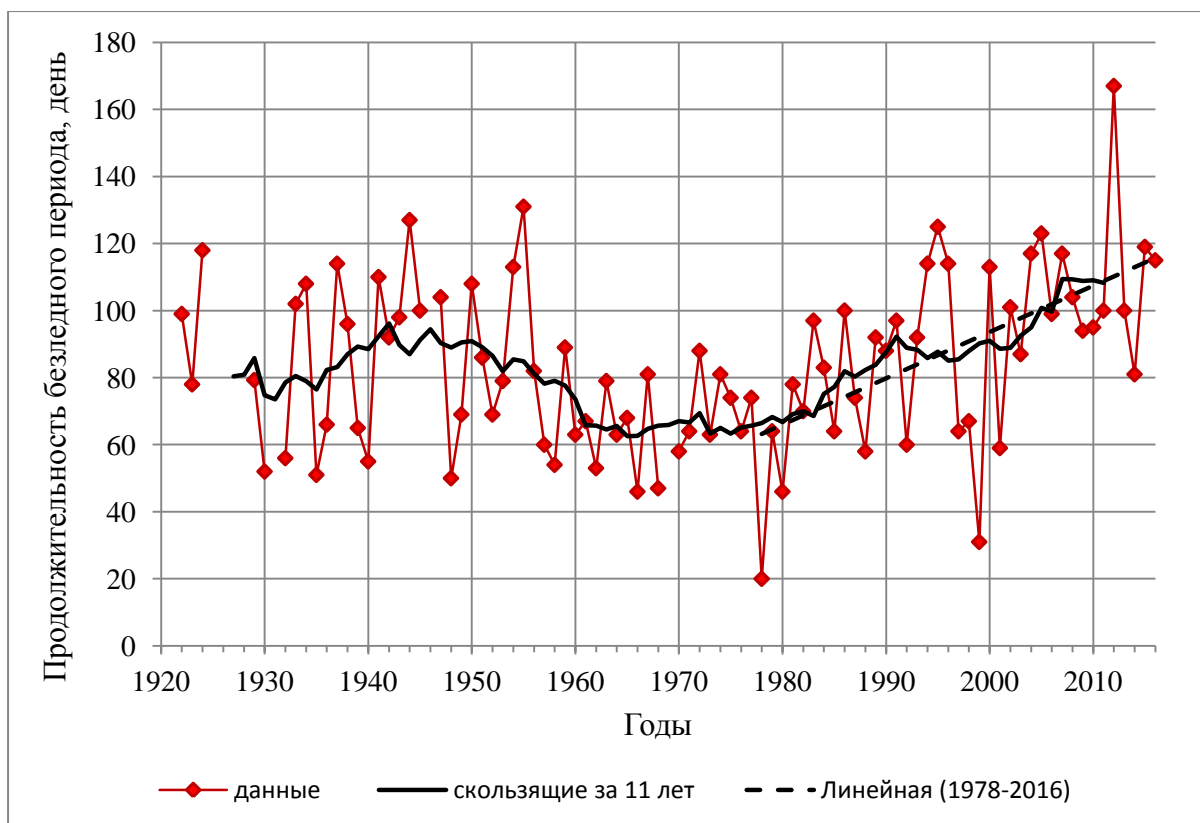


Рис.4. Продолжительность безледного периода на ГМС Марресалья. Полужирной линией показаны значения 11-летнего скользящего среднего, пунктиром - линейный тренд с 1978 года.

В целом, для Карского моря характерно снижение ледовитости с 1980х годов. Результаты проведенной оценки изменения площади ледяного покрова в Карском регионе (по результатам анализа спутниковых изображений сплоченности ледяного покрова) с 1978 по 2017 гг. показали сокращение площади морских льдов в 2000х и 2010х (рис. 5, 6). Если в 1980х и 1990х средняя площадь распространения льдов в Карском море в сентябре в редкие годы была меньше 100 тыс. км², в среднем, составляя от 250 до 400 тыс. км², то с 2005 года она составляет менее 70-80 тыс. км², с единичными исключениями в 2006 и 2013 годах. Таким образом, не только продолжительность времени воздействия волн на берег, но и длина их разгона существенно увеличились в начале XXI века и продолжают расти. Данные ААНИИ и NOAA, несмотря на некоторую разницу в оценке площади распространения ледяного покрова, в особенности заметную в 1998-2003 г (завышенные значения NOAA по сравнению с ААНИИ), показывают приемлемую сходимость и одинаковые тенденции к уменьшению ледяного покрова в сентябре.

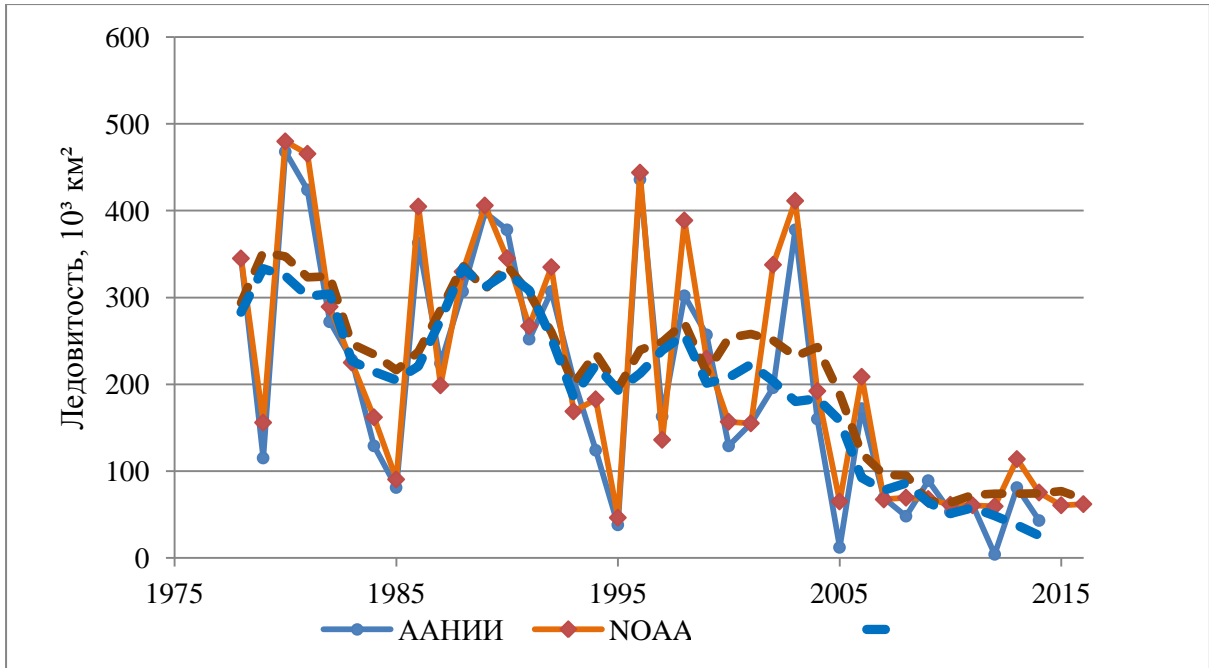
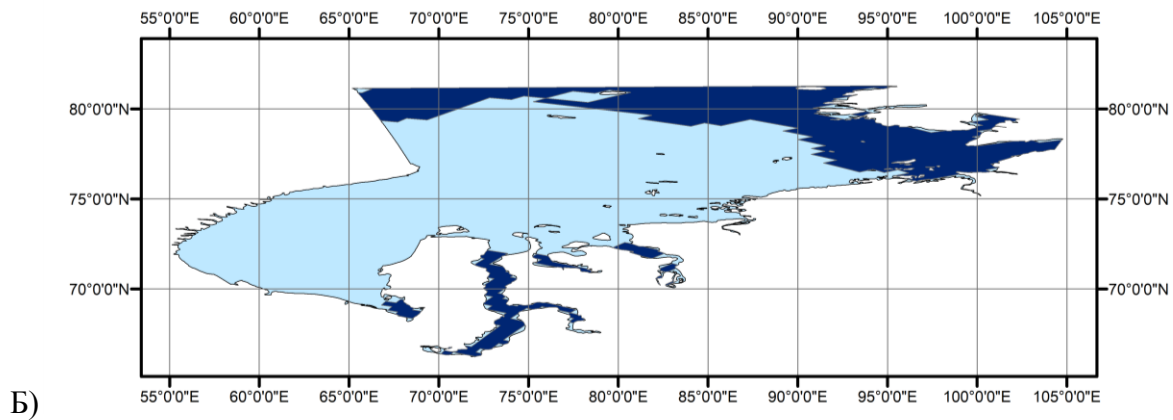
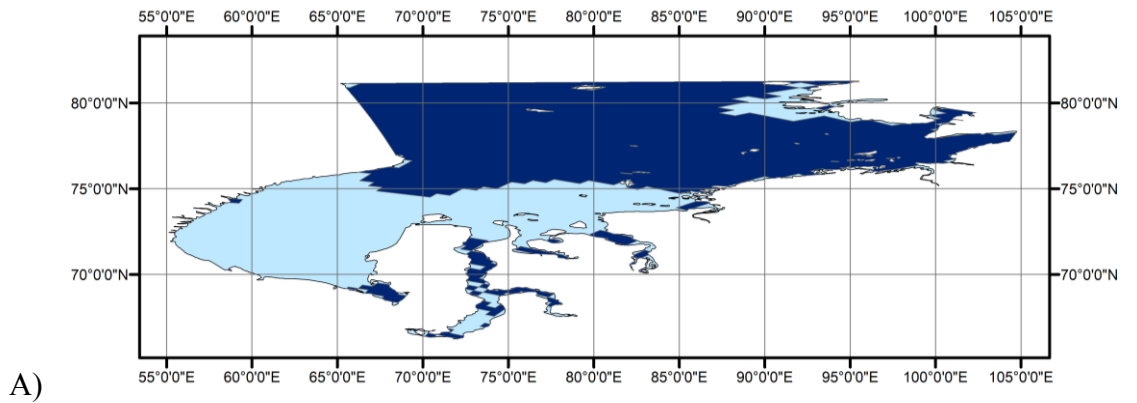


Рис. 5. Изменения средней площади распространения морских льдов в Карском море в сентябре, рассчитанные по данным спутниковых наблюдений. Полуужирным пунктиром показаны 5-летние скользящие средние значения по данным ААНИИ и NOAA, соответственно



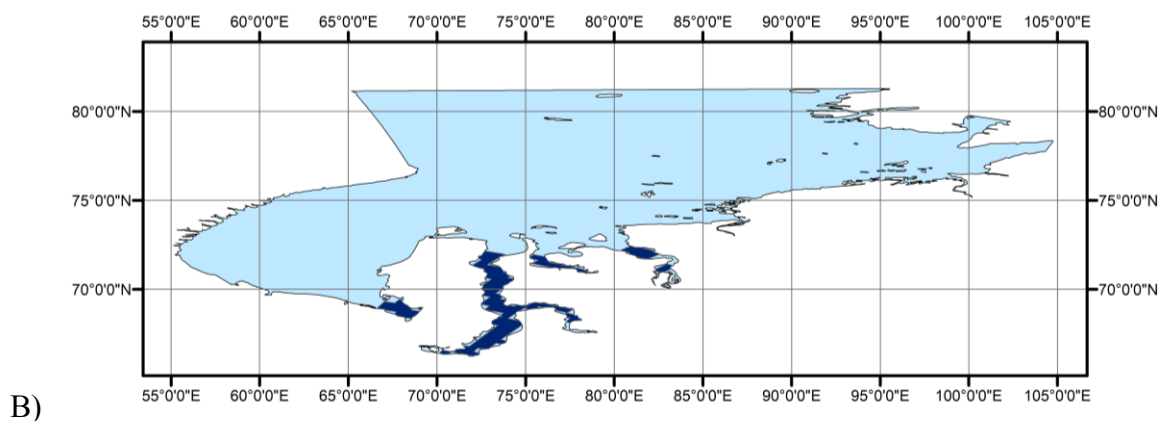


Рис. 6. Ледовитость акватории Карского моря: максимальная (1980); близкая к среднегодовой (2006); минимальная (2012)

Таким образом, глобальные климатические изменения в Карском регионе за последние 20 лет затронули все изученные климатические параметры. На сегодняшний день наблюдается повышение температуры воздуха, увеличение энергии волн, сопровождающееся ростом уровня моря. Безледный период по сравнению с 1980-ми вырос более, чем в два раза. Площадь морских льдов в акватории Карского моря также стремительно сокращается (более, чем в 3 раза с 1980х), обеспечивая значительный разгон волн, действующих на берег. Все это создает благоприятные условия для увеличения гидрометеорологического потенциала термоабразии.