

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В МОРСКОЙ АРКТИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ МПГ 2007/08

*д-р геогр. наук Г.В.АЛЕКСЕЕВ, науч. сотр. А.В.ПНЮШКОВ, науч. сотр. Н.Е.ИВАНОВ,
канд. геогр. наук И.М.АШИК, зав. отделом В.Т.СОКОЛОВ,*

канд. геогр. наук П.Н.ГОЛОВИН, канд. физ.-мат. наук П.В.БОГОРОДСКИЙ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: aaricoop@aari.nw.ru

В статье представлены результаты оценки многолетних изменений арктического климата в XX – начале XXI столетия. Рассмотрены изменения в приповерхностном слое атмосферы, состояния вод Северного Ледовитого океана и морского ледяного покрова. Используются массивы отечественных и зарубежных океанографических, ледовых и метеорологических данных по Арктическому региону, включая данные Международного полярного года 2007/08.

Ключевые слова: изменения климата, Арктика, Арктический бассейн, МПГ 2007/08

ВВЕДЕНИЕ

Арктика является одним из районов, для которых пока не удается получить хорошего согласия между глобальными моделями и наблюдениями в воспроизведении происходящих изменений климата. В связи с этим необходимы исследования с использованием как данных мониторинга изменений состояния основных частей арктической климатической системы, так и результатов расчета этих изменений на глобальных моделях климата.

Широкомасштабные комплексные исследования, выполненные в ходе реализации программ и экспедиций МПГ 2007/08: «Арктика-2007», «Арктика-2008», NAVOS, рейс НИС «Поларштерн» летом 2007 г., «Дрейфующие буи» («Ice-Tethered Profiler Program») и др., позволили получить уникальные данные о распределении температуры и солености вод Арктического бассейна Северного Ледовитого океана, использованные в данной работе. Данные о температуре воздуха предоставлены Е.И.Александровым, данные о распространении морских льдов в арктических морях – А.В.Юлиным и взяты с сайта National Snow and Ice Data Center (NSIDC).

ИЗМЕНЕНИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Для оценки региональных и сезонных особенностей изменений приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) в Арктике и в северной полярной области за столетний период 1907–2007 гг. использованы среднемесячные данные 30 станций, расположенных к северу от 60° с.ш. Большая часть таких станций располагается в атлантической половине рассматриваемой области (к западу от меридиана 90–270°). С течением времени число станций увеличивалось, и после 1950 г. их насчитывалось уже более 200 [1]. Для обеспечения однородности временных рядов в условиях неравномерного покрытия рассматриваемой области изменяющимся числом станций расчет средних и анализ изменчивости полученных значений выполнен по постоянному набору станций.

Следует заметить, что можно рассчитывать средние значения и по сеточным массивам данных ПТВ, которые созданы в нескольких климатических центрах [8, 9, 10]. Однако эти массивы пополняются с задержкой, что не дает возможности рассматривать изменения за последние годы. Сеточные массивы использованы в этой работе для сравнения средних значений ПТВ с целью подтвердить репрезентативность оценок по ограниченному набору станций для рассматриваемой области. Сравнение средних значений по станциям с данными массива NCEP за 1951–2007 гг. и массива [10] за 1951–2000 гг. показало, что коэффициенты корреляции между ними находятся в пределах 0,81–0,90 с данными NCEP и 0,90–0,97 для данных [10].

Оценки тренда за весь период с 1907 по 2007 г. для всех рядов средней за год и за сезоны приповерхностной температуры воздуха во всей области и в приатлантической и тихоокеанской ее половинах положительны и, за исключением 5 рядов, значимы на 95 % и более уровне. Для всех рассматриваемых областей осенние (сентябрь–октябрь) тренды минимальны и незначимы, а весенние (апрель–май) максимальны и все значимы. В целом все тренды сильнее в тихоокеанской, чем в атлантической половине области. При этом оценки трендов неустойчивы к сдвигу начала ряда на более поздние годы. Их коэффициенты быстро убывают по мере приближения начала ряда к 1925 г. вплоть до смены знака тренда для зимы.

Сравнение средних температур за десятилетие 1997–2007 гг. с самым теплым десятилетием в период первого потепления показывает, что в среднем за год весной и летом ПТВ в последние десять лет выше во всех рассматриваемых районах. Однако зимой соотношение обратное для всей области и ее атлантической половины. Осенью последние десять лет несколько теплее, чем в десятилетия первого потепления. При этом самые теплые осенние сезоны в период первого потепления отмечались в конце 1940-х–начале 1950-х гг.

К 1951 г. к северу от 60° с.ш. насчитывалось уже более 200 метеорологических станций, что позволяет оценить изменения ПТВ при более равномерном и полном покрытии арктического региона данными метеорологических наблюдений. Особый интерес представляют изменения температуры воздуха над областью морской Арктики, включающей покрытую льдами в зимний период акваторию Северного Ледовитого океана. Изменения температуры в этой области в первую очередь влияют на зимнее разрастание и летнее таяние ледяного покрова. Изменение суммы положительных летних температур служит индикатором летнего теплового воздействия на лед, а сумма отрицательных температур за холодный период года характеризует максимальное увеличение объема льда зимой. Для оценки изменений обоих показателей термического влияния на ледяной покров выбраны данные 38 станций, расположенных на островах и побережье Северного Ледовитого океана, отку-

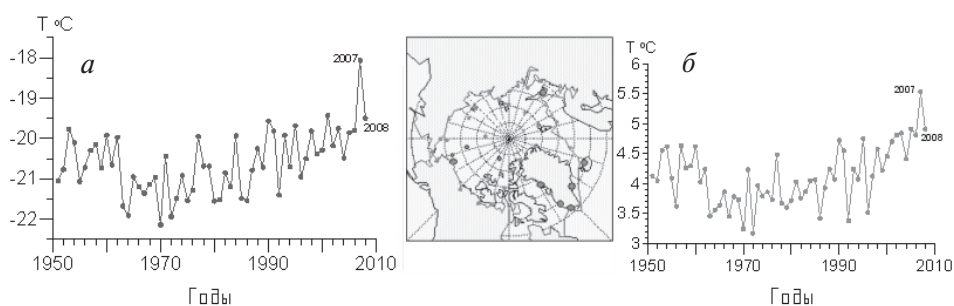


Рис. 1. Средняя зимняя (ноябрь–март)(а) и летняя (июнь–август)(б) ПТВ на 38 станциях в морской Арктике (на вставке) в 1951–2008 гг.

да начинается летнее отступление морских арктических льдов. Средние зимние и летние ПТВ на этих станциях начиная с 1951 г. показаны на рис. 1.

Графики на рис. 1 показывают быстрое убывание отрицательных температур после 1990 г. и рост положительных температур после 1995 г. с рекордом в 2007 г. Предыдущее значительно более слабое потепление согласно этим графикам отмечалось в 1950–1960-е гг. Для сравнения с первым потеплением были рассчитаны летние и зимние температуры по 30 станциям в области к северу от 60° с.ш. начиная с 1921 г. Они также подтвердили, что 2007 г. по этим показателям был самым теплым за период наблюдений, включающий в себя оба потепления.

МОРСКОЙ ЛЕД

Морской ледяной покров играет важную роль во взаимодействии между Арктикой и остальной частью глобальной климатической системы и в то же время является индикатором изменений арктического климата. Наблюдаемое с начала 1980-х гг. сокращение площади, занимаемой морскими льдами в Северном полушарии (площадь морского льда (ПМЛ)), является очевидным свидетельством потепления в высоких широтах. Сокращение ПМЛ ускорилось в конце 1990-х гг., когда стали отмечаться последовательно рекордные минимумы летней (сентябрьской) ПМЛ с абсолютным минимумом (за период регулярных измерений со спутников в 1978 г.) в сентябре 2007 г. (4,30 млн км²) [11, 12, 13]. В сентябре 2008 г. ПМЛ несколько возросла (4,67 млн км²), но осталась на нисходящей ветви многолетних изменений (см. рис. 2).

Сравнение темпов сокращения ПМЛ за период развития современного потепления и в период потепления в Арктике в 1930–1940-е гг. возможно по данным о площади, занятой льдами в арктических морях с 1920-х гг. и по настоящее время. Тренды ПМЛ в арктических морях за полный период наблюдений, за 30-летние периоды потеплений в Арктике и за последние десять лет указывают на однозначную тенденцию к сокращению ПМЛ во все рассматриваемые периоды с усилением к последнему десятилетию для Сибирских морей в целом.

Особенно значительное сокращение ПМЛ в Сибирских морях, так же как и всего ледяного покрова в Арктике, произошло в последнее десятилетие (см. рис. 2). За 10 лет с 1997 по 2007 г. ПМЛ в сентябре сократилась на 26 % во всей Арктике и на 79 % в Сибирских морях. В то время как за весь период спутниковых наблюдений с 1979 по 2007 г. скорость сокращения составила 9,5 % за 10 лет для всей Арктики и 16,6 % за 10 лет для Сибирских морей.

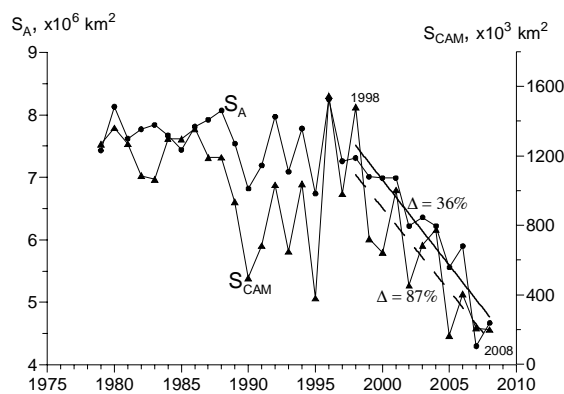


Рис. 2. Площадь, занятая морским льдом, в сентябре в Арктике (S_A) и в Сибирских арктических морях (S_{CAM}) в 1979–2008 гг.

ОКЕАН

С развитием потепления Арктики с начала 1990-х гг. возрос интерес к изменениям в состоянии Северного Ледовитого океана, что проявилось в организации и осуществлении целого ряда международных и национальных программ арктических исследований. Важной составляющей этих программ являются морские экспедиционные исследования Арктического бассейна, благодаря которым были получены значительные объемы океанографических данных. В этот период впервые после обширных советских исследований 1970-х гг. удалось охватить наблюдениями большую часть бассейна. Правда, в отличие от наблюдений 1970-х гг., которые проводились в течение семи весенних сезонов на акватории всего бассейна [6], наблюдения 1990-х гг. покрыли бассейн в течение десятилетия. В 2000-е гг. число океанографических наблюдений возрастало, а в период Международного полярного года 2007/08 оказалось достаточным для покрытия почти всего Арктического бассейна в течение одного летнего сезона.

Океанографические данные, собранные в СЛО до начала 1990-х гг., были использованы при подготовке климатических атласов [4, 5] и цифровых океанографических атласов СЛО для зимнего и летнего периодов [7], в которые вошли данные за 1948–1993 гг. Таким образом, были получены климатические океанографические характеристики СЛО в период до развития современного потепления Арктики, особенно детально представляющие климат СЛО в 1970-е гг. – десятилетие устойчивого состояния СЛО в период относительного похолодания между потеплением Арктики в 1930–1940-е гг. и современным потеплением. Средние океанографические поля за десятилетие 1970-х гг., представленные в атласе [7] для зимнего периода, были использованы при построении океанографических полей Арктического бассейна по данным экспедиционных наблюдений в период полевой фазы исследований по программам и проектам МПГ в 2007 г. (рис. 3).

Для построения полей океанографических характеристик использована идея выделения крупномасштабной составляющей поля путем согласования полученных данных с имеющимся климатическим полем [2]. Основанием для этого является консервативность крупномасштабной структуры водных масс океана, в частности Арктического бассейна, в котором сохраняется трехслойная структура вод (верхний холодный и опресненный слой, промежуточный слой воды атлантического происхождения с положительной температурой и нижележащий слой глубинных и придонных вод). Характеристики водных масс в этих слоях и границы между ними могут изменяться от года к году под влиянием как крупномасштабных процессов циркуляции атмосферы и водообмена с Атлантическим и Тихим океанами, так и локальных мезомасштабных процессов в океане. Данные наблюдений на отдельных станциях фиксируют состояние водных масс в данный момент времени, которое включает обе составляющие изменения относительно некоторого климатического состояния. В качестве такого климатического состояния использованы средние океанографические поля за десятилетие 1970-х гг., представленные в атласе [7] для зимнего периода. Эти поля построены по данным уникальных океанографических наблюдений в течение 8 весенних сезонов на сетке станций, покрывающей весь Арктический бассейн.

Построение крупномасштабной составляющей поля включает выбор сеточной области на климатическом поле, в которой выполнено некоторое число океанографических станций, расчет средних значений и отклонений от них для климатических и наблюдаемых значений, минимизацию расхождений между отклонениями (нахождение регрессии климатических отклонений на наблюдаемые) и расчет оптимизированных отклонений для каждого узла сеточной области с добавлением среднего по наблюдениям. Такая процедура позволяет получить крупномасштабную составляющую наблюдаемого поля, свободную от возмущений,

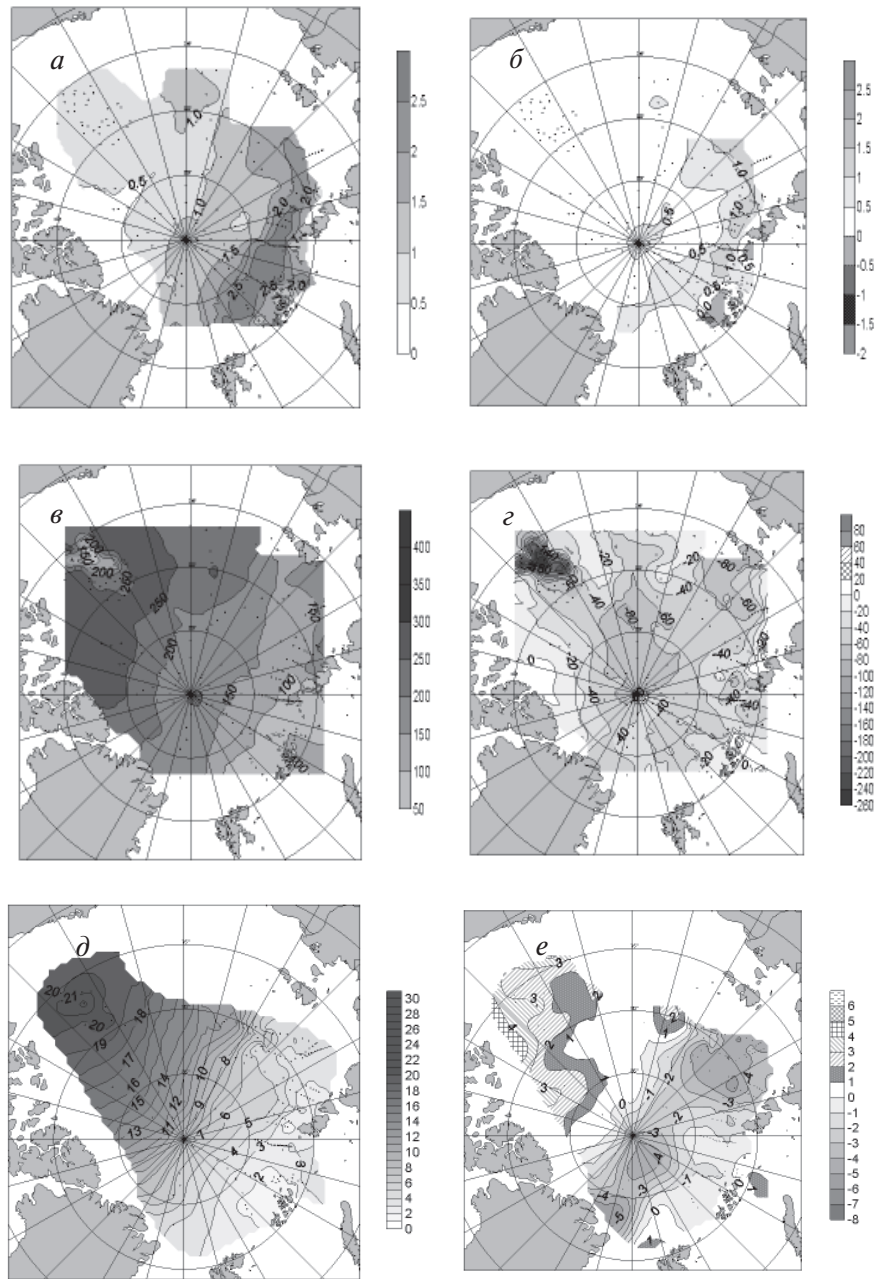


Рис. 3. Верхний ряд – максимальная температура в слое атлантической воды в Арктическом бассейне в 2007 г. (а) и аномалии относительно 1970-х гг. (б); средний ряд – глубина залегания верхней 0 °С изотермы в 2007 г. (в) и аномалии относительно 1970-х гг. (г); нижний ряд – содержание пресной воды (м) в слое от поверхности до глубины изохалины 34,80 psu (д) и аномалии относительно 1970-х гг. (е)

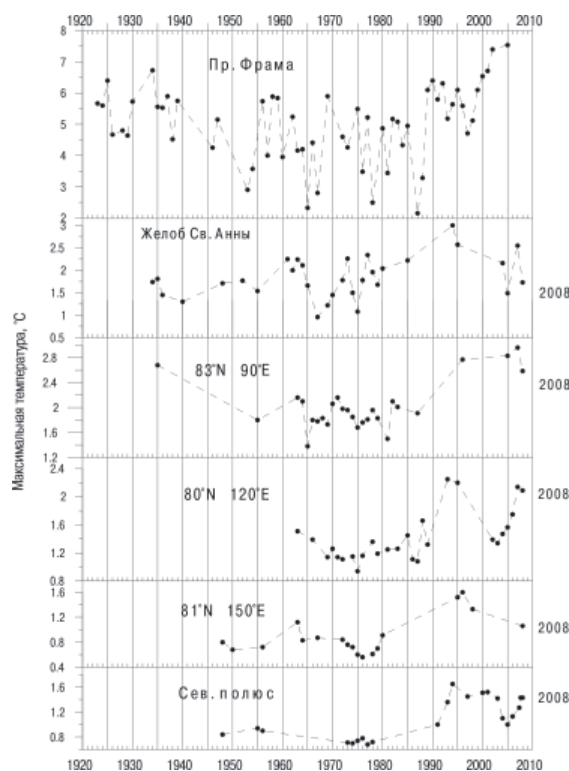


Рис. 4. Изменения максимальной температуры в слое атлантической воды в шести районах Арктического бассейна (слева) в 1924–2008 гг.

связанных с влиянием мезомасштабных процессов и ошибок в наблюдениях, и сохраняющую структуру климатического поля.

Применение предложенного метода позволило получить поля температуры, солености и характеристик структуры водных масс на большей части акватории Арктического бассейна по данным наблюдений в 2007 г. (рис. 3). Распределения температуры воды в слое АВ в сравнении с климатическими температурами 1970-х гг. показали масштабы потепления в этом слое, охватившего весь Арктический бассейн. Максимальная температура в слое АВ увеличилась, особенно в области потока АВ вдоль материкового склона, превысив на востоке области на 1–1,5 °С уровень 1970-х гг. Одновременно поднялась верхняя граница слоя АВ, отождествляемая с нулевой изотермой. Уменьшение глубины нулевой изотермы составило от 20 до 80 м относительно ее глубины в 1970-е гг. Вследствие этих изменений опресненный верхний слой над областью потока АВ уменьшился и часть воды этого слоя сместилась в сторону Гренландии и Канадского архипелага, в результате усилился сток опресненной воды из Арктического бассейна через канадские проливы.

В условиях неопределенности последствий глобального потепления для океанического влияния на климат мониторинг поступления атлантической воды в Арктический бассейн — конечное звено североатлантической части глобального океанического «конвейера» — приобретает особое значение [3]. Океанографические наблюдения в Арктическом бассейне обнаружили начиная с 1990 г. повышение температуры в слое атлантической воды (АВ) на глубинах от 100 до 600 м. Это повышение началось на входе АВ в Арктический бассейн и затем распространи-

лось почти по всему бассейну. Данные о температуре АВ, полученные в 2007 и 2008 гг. в ходе экспедиционных исследований по программам МПГ 2007/08 гг. в Арктическом бассейне и сопоставленные с данными предыдущих наблюдений, показывают продолжение потепления (рис. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным наблюдений за приповерхностной температурой воздуха к северу от 60° с.ш. средние зимние ПТВ в этой области были выше в период первого потепления Арктики в 1930–1940-х гг., а наиболее значительные положительные тренды средней ПТВ за столетний период 1907–2007 гг. отмечены для весны и лета. Эти особенности заметнее всего в приатлантической половине области, а в тихоокеанской ее половине современное потепление и тренды выше, чем в приатлантической, во все сезоны года за исключением осени.

По более полным данным наблюдений за ПТВ в Арктике с 1951 г. рассчитаны средние ПТВ за холодный (ноябрь–апрель) и теплый (июнь–август) периоды года в области, соответствующей максимальному распространению морского льда зимой (морская Арктика). Абсолютные максимумы ПТВ для обоих периодов пришлись на 2007 г., а в 2008 г. произошло некоторое понижение ПТВ, которое, тем не менее, сохраняется значительно выше средней за рассматриваемый период наблюдений.

Площадь, занятая морским льдом в Арктике и Сибирских арктических морях в конце летнего периода, быстро сокращается в последнее десятилетие. Абсолютный ее минимум был достигнут в 2007 г., а в 2008 г. произошло незначительное увеличение.

Экспедиционные исследования по программе МПГ внесли большой вклад в мониторинг морской среды Арктики. Впервые получены оценки характеристик водных масс на акватории Арктического бассейна, сопоставимые с оценками советских экспедиций 1970-х гг. Полученные данные показали, что повышенная температура в слое атлантической воды сохраняется, а толщина верхнего опресненного слоя уменьшилась над областью потока АВ и увеличилась в Канадской части Арктического бассейна. Оценки максимальной температуры АВ по пути ее распространения в Арктическом бассейне по данным наблюдений с 1930-х гг. и по 2008 г. указывают на сохранение повышенных значений температуры и в 2008 г. в продолжение потепления, начавшегося в 1990-е гг.

Работа проводилась в рамках проектов ЦНТПЗ.2.1 и 5.3.2 при поддержке грантов РФФИ 06-05-64054-а, 07-05-00393-а, 07-05-13558 офи-ц, 07-05-13578 офи-ц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Е.И., Дементьев А.А. База приземных метеорологических данных полярных районов и ее использование // Формирование базы данных по морским льдам и гидрометеорологии. СПб.: Гидрометеиздат, 1995. С. 67–75.
2. Алексеев Г. В. Натурные исследования крупномасштабной изменчивости в океане / Под ред. Ю.В.Николаева. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 111 с.
3. Алексеев Г.В., Фролов И.Е., Соколов В.Т. Наблюдения в Арктике не подтверждают ослабление термохалинной циркуляции в Северной Атлантике // ДАН. 2007. Т. 413. № 2. С. 277–280.
4. Атлас Арктики / Под ред. А.Ф.Трешникова, Е.С.Короткевич и др. М.: Главное Управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1985. 204 с.
5. Атлас океанов. Северный Ледовитый океан / Под ред. С.Г.Горшкова. М.: Издательство Военно-морского флота СССР, 1980. 182 с.
6. Константинов Ю.Б., Грачев К.И. Высокоширотные воздушные экспедиции «Север» (1937, 1941–1993 гг.) / Под ред. В.Т.Соколова. СПб.: Гидрометеиздат, 2000. 176 с.

7. Arctic Climatology Project. Environmental Working Group joint U.S.-Russian atlas of the Arctic Ocean winter period / Edited by L. Timokhov and F. Tanis. Ann Arbor, MI: Environmental Research Institute of Michigan in association with the National Snow and Ice Data Center, 1998. CD-ROM.
8. Hansen J., Ruedy R., Glascoe J., Sato M. GISS analysis of surface temperature change // J. Geophys. Res. 1999. Vol. 104. P. 30997–31022.
9. Jones P.D., Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2001 // J. Climate. 2003. 16. P. 206–223.
10. Kuzmina S., Johannessen O.M., Bengtsson L., Aniskima O., Bobilev L. High northern latitude surface air temperature: comparison of existing data and creation of a new gridded data set 1900–2000 // Tellus. 2008. 60A. P. 289–304.
11. NSIDC. Arctic Sea Ice Shatters All Previous Record Lows // Press release. 1 October 2007. <http://nsidc.org>.
12. Serreze M. C., Maslanik J. A., Scambos T. A., Fetterer F., Stroeve J., Knowles K., Fowler C., Drobot S., Barry R. G., Haran T. M. A record minimum arctic sea ice extent and area in 2002 // Geophys. Res. Lett. 2003. № 30. P. 1110. doi:10.29/2002GL016406.
13. Stroeve J. C., Serreze M. C., Fetterer F., Arbetter T., Meier W., Maslanik J., Knowles K. Tracking the Arctic's shrinking ice cover: Another extreme September minimum in 2004 // Geophys. Res. Lett. 2005. № 32. L04501. doi:10.1029/2004GL021810.

*G.V.ALEKSEEV, A.V.PNUYSHKOV, N.E.IVANOV, I.M.ASHIK, V.T.SOKOLOV,
P.N.GOLOVIN, P.V.BOGORODSKY*

ASSESSMENT OF THE CLIMATIC CHANGES IN THE MARINE ARCTIC WITH IPY 2007/08 DATA

It is presented the assessment of the interannual and decadal changes of the Arctic climate for XX onset of XXI centuries. Changes in the surface air temperature, in the Arctic Ocean and sea ice cover are considered. National and international data sets including ones from IPY 2007/08 were used.

Key words: Climate change, Arctic, Arctic Ocean, IPY 2007/08.