



---

**ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКАЯ АССОЦИАЦИЯ**

---

**INSTITUTE OF GEOGRAPHY OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
GLACIOLOGICAL ASSOCIATION**

---

# **МАТЕРИАЛЫ ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**МОСКВА 1997**

**83**



ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКАЯ АССОЦИАЦИЯ

**МАТЕРИАЛЫ  
ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**ВЫПУСК 83**

**DATA  
OF GLACIOLOGICAL  
STUDIES**

**PUBLICATION 83**

Москва

## АННОТАЦИЯ

В настоящем выпуске приводятся статьи о движении и колебаниях ледниковых систем Арктики, о ледниковом стоке в высокогорье Центральной Азии, об особенностях современного оледенения массива Монгун-Тайга и недавней истории ледников Туюксу в Заилийском Алатау. В подборке докладов XI гляциологического симпозиума говорится о конгеляционном льдообразовании в криосфере Земли и мерзлоте в высокогорных и аридных районах, моделировании динамики "морского" ледника и течения анизотропного льда, палинологических исследованиях ледяного керна с Се-

верной Земли, радиозондировании ледниковой шапки на о. Кинг-Джордж в Антарктике, реакции ледниковых систем Тянь-Шаня, Кавказа и Альп на климатические изменения. Статьи в разделе "Научные сообщения" касаются взаимосвязи толщины ледника с углом наклона его поверхности, взаимодействия краевых частей Антарктического ледникового покрова с океаном и атмосферой, зональности льдообразования на ледниках Тянь-Шаня. Два обзора рассказывают о некоторых итогах глубокого бурения ледникового щита Гренландии и стационарных моделях ледниковых покровов.

## ANNOTATION

This issue presents the articles on movement and fluctuations of glacial systems of the Arctic, the glacier runoff in highlands of Central Asia, specific features of glaciation of Mongun-Taiga mountain massif and recent history of Tuyuksu glaciers in Zailiysky Alatau. A set of papers of the XI Glaciological Symposium describes congelation ice formation in the Earth's cryosphere and permafrost in alpine and arid regions, modelling of dynamics of the "marine" glacier and anisotropic ice flow, palynological study of the ice core from Severnaya

Zemlya, radioecho sounding of the ice cap on King George Island in the Antarctic, response of glacial systems of Tien Shan and Alps to climate changes. Articles in the Section "Short Papers" pertain to inter-connection between the glacier thickness and the inclination angle of its surface, interaction of the Antarctic ice sheet marginal parts with the ocean and atmosphere, ice formation zonality on the Tien Shan glaciers. Two reviews tell us about some results of deep drilling of the Greenland ice sheet and stationary models of ice sheets.

---

Главный редактор академик **В.М.КОТЛЯКОВ**

Ответственный секретарь **И.Я.ЛАПИНА**

Редакционная коллегия: д.г.н. **В.Р.Алексеев**, к.г.н. **С.М.Архипов**, к.г.н. **А.Ф.Глазовский**, д.г.н. **В.Н.Голубев**, д.г.н. **М.Г.Гросвальд**, к.г.н. **А.Н.Диких**, к.г.н. **Н.Н.Дрейер**, д.т.н. **А.К.Дюнин**, д.г.н. **Л.А.Канаев**, д.г.н. **Ю.Ф.Книжников**, д.г.н. **В.Г.Коновалов**, д.г.н. **М.М.Корейша**, д.ф.-м.н. **М.С.Красс**, д.г.н. **К.С.Лосев**, д.г.н. **Ю.Я.Мачерет**, к.г.н. **В.И.Николаев**, к.г.н. **Н.И.Осокин**, к.г.н. **О.В.Рототаева**, д.ф.-м.н. **А.Н.Саламатин**, чл.-корр. АН Республики Казахстан **И.В.Северский**, к.г.н. **Д.Г.Цветков**

В подготовке сборника к печати принимали участие:  
**А.В.Котляков**, **Л.В.Набокова**, **Т.В.Сковородина**, **О.М.Шляхова**

Компьютерная верстка: **М.Г.Кунахович**

© Институт географии РАН



## Колебания ледников и изменения циркуляционных процессов в полярных районах Атлантики и в Европе\*

В.Г. Захаров, Л.В. Хмелевская

Институт географии РАН

Статья поступила в редакцию 30 апреля 1996 г.  
Представлена главным редактором В.М. Котляковым

Представлены результаты исследования взаимосвязи режима ледников в указанном регионе с блокирующими циркуляционными процессами на севере и юге Атлантики

Несмотря на большие различия свойств подстилающей поверхности Северного и Южного полушарий вопрос о сходстве и взаимодействии между метеорологическими и ледовыми явлениями полушарий возник давно и освещался в 20 — 40-е годы в работах В.Ю. Визе, Г. Лэмба, затем А.А. Гирса, Д. Флетчера и др. [3, 7, 27]. Трудности проведения этих исследований заключались в крайне несистематической метеорологической и гляциологической информации (особенно это касается Южного полушария). К настоящему времени накоплен достаточно большой архив данных метеорологических и гляциологических наблюдений, а также синоптический материал по обоим полушариям.

Одна из типизаций атмосферных процессов в Северном полушарии была разработана Б.Л. Дзердзеевским в 40-х годах для умеренных и высоких широт [10]. В последующие годы схемы типовых процессов были уточнены и расширены до экватора [8]. Основной для их выделения служили характер воздушных переносов и число блокировок на полушарии. Обработка большого объема синоптического материала позволила создать календарь ЭЦМ за XX в. (с 1899 г. по настоящее время), в котором для каждого дня определен тип циркуляционных процессов.

Наиболее близка к типизации Б.Л. Дзердзеевского по принципам выделения типов циркуляции для Южного полушария типизация П.Д. Астапенко [1, рис. 1]. В 60-х годах Б.Л. Дзердзеевский используя его данные установил сопряженность типовых процессов в обоих полушариях [7].

На рис. 2 показаны районы оледенения, в которых динамика ледников так или иначе связана с развитием рассматриваемых гребней высокого давления и известна из [12, 13, 16, 25]. Однако типовые схемы, отраженные на рис. 2, подкреплены данными за период времени с конца прошлого века до 70-х годов нынешнего [7]. Чтобы продолжить сбор доказательств синхронности процессов на севере и юге Атлантики в 70-е и 80-е годы, а также найти новые пути получения подобной информации мы использовали по-

следние данные календаря ЭЦМ и материалы многолетних изменений положения края ледников (см. рис. 2), а также сведения о ледовых условиях и дрейфе антарктических айсбергов вдоль побережий моря Уэдделла в Атлантическом секторе Антарктики [26].

Рис. 3 частично заимствован из [15], где установлена связь интенсивности меридиональных южных выносов (блокировок) и изменчивости (понижения) температуры воды в слое 0 — 20 м в периоды усиления этих выносов. Как видно на рис. 2 и 3, в трех из четырех районов Южной Атлантики, на которые непосредственно распространяется действие гребней высокого давления из моря Уэдделла, т.е. на Патагонском шельфе, о. Южная Георгия и Южных Оркнейских островах, в основном наблюдалась синхронность этих процессов с блокирующими процессами в Северной Атлантике. Увеличению числа блокировок на севере сектора соответствовали понижения температуры воды в слое 0 — 20 м, связанные с повышением интенсивности холодных южных выносов воздушных масс. Однако в районе Южных Шетландских островов, расположенных к западу от области антарктических гребней высокого давления, периодам увеличения блокировок на севере и юге Атлантики соответствовало повышение температуры воды, обусловленное затоками на острова теплых воздушных масс с севера и северо-запада.

Синхронность развития блокирующих процессов в Северной и Южной Атлантике в 1983 и 1984 гг. иллюстрирует рис. 4. Для 1983 г. с большим числом блокирующих процессов, а также для 1984 г., синхронность блокировок с юга и севера подтвердилась во всех периодах, выявленных по ледовым картам. По отношению к периодам с блокировками из календаря ЭЦМ это составило 78% в первом случае и 67% во втором.

Результаты проведенного анализа мы использовали для сравнения годового хода блокирующих процессов в Северной Атлантике и средней скорости дрейфа двух крупных антарктических айсбергов в море Уэдделла. При этом считалось, что изменения в

\* В наиболее полном объеме материалы этих исследований были доложены на международном гляциологическом симпозиуме в Ташкенте 1 сентября 1993 г. [14].

83 ср - 1997

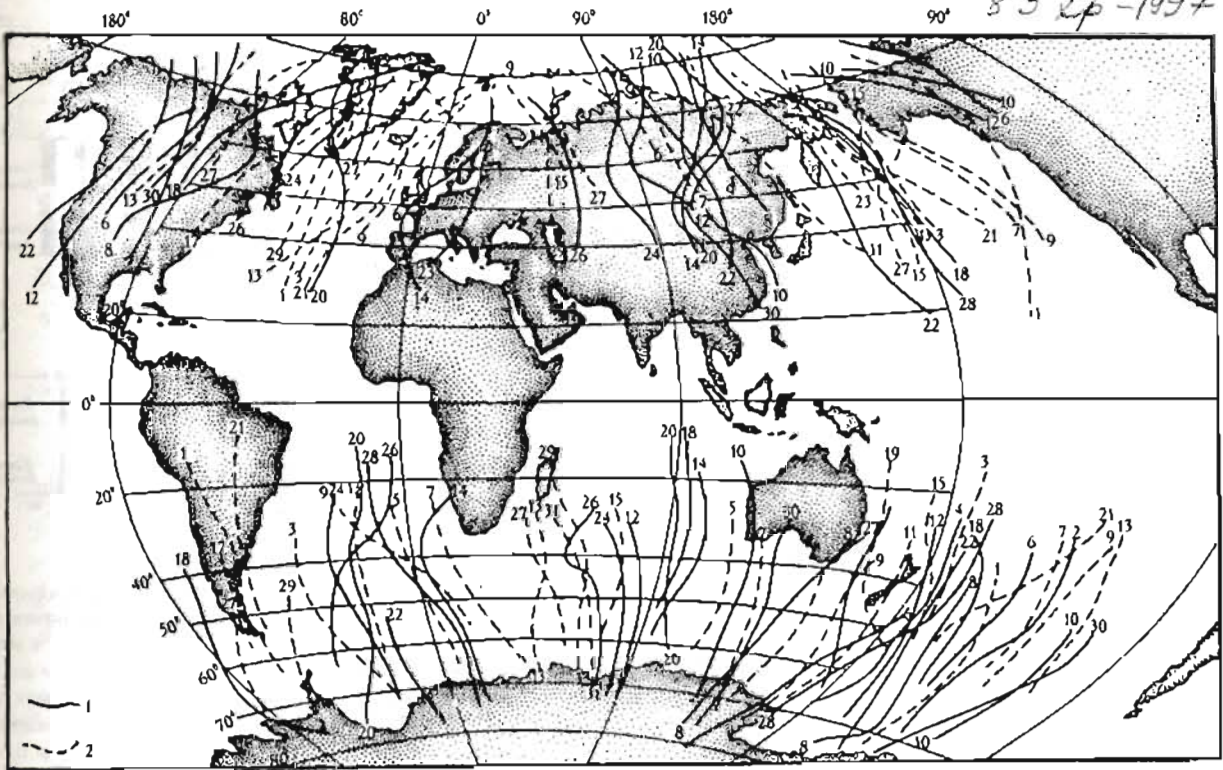


Рис. 1. Положение осей меридионально ориентированных перемычек высокого давления на уровне моря в июле 1957 г. и январе 1958 г. по [1]: 1 — оси в январе, 2 — в июле. Даты у каждой оси: за январь — четные числа, за июль — нечетные.

Fig. 1. Location of meridionally-oriented high pressure zone axes at the sea level in July, 1957 and January, 1958 acc. to [1]: 1 — axes in January, 2 — axes in July. Dates near every axis: for January — even numbers, for July — odd numbers

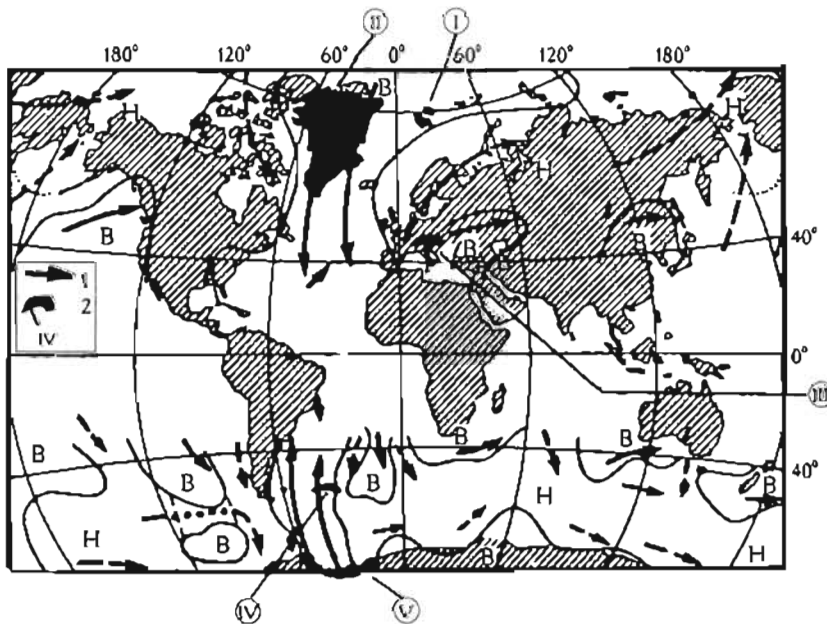


Рис. 2. Сравнение типовых схем циркуляции над Северным и Южным полушариями (северное — по Б. Л. Дзердзеевскому, Южное — по П. Д. Астапенко) [7]. Вторжение на Атлантику: 1 — блокирующие гребни высокого давления, 2 — исследуемые ледники и ледниковые районы. (I — Шпицберген, II — Гренландия, III — Альпы, IV — о. Южная Георгия, V — шельфовый ледник Фильхнера)

Fig. 2. Comparison of typical schemes of circulation above the Northern and Southern Hemispheres (North — by Dzerdzeevsky B.L., South — by Astapenko P.D.) [7]. Intrusion into the Atlantic: 1 — high pressure blocking ranges, 2 — studied glaciers and glacier regions (I — Spitzbergen, II — Greenland, III — the Alps, IV — S. Georgia Island, V — Filchner Ice Shelf)

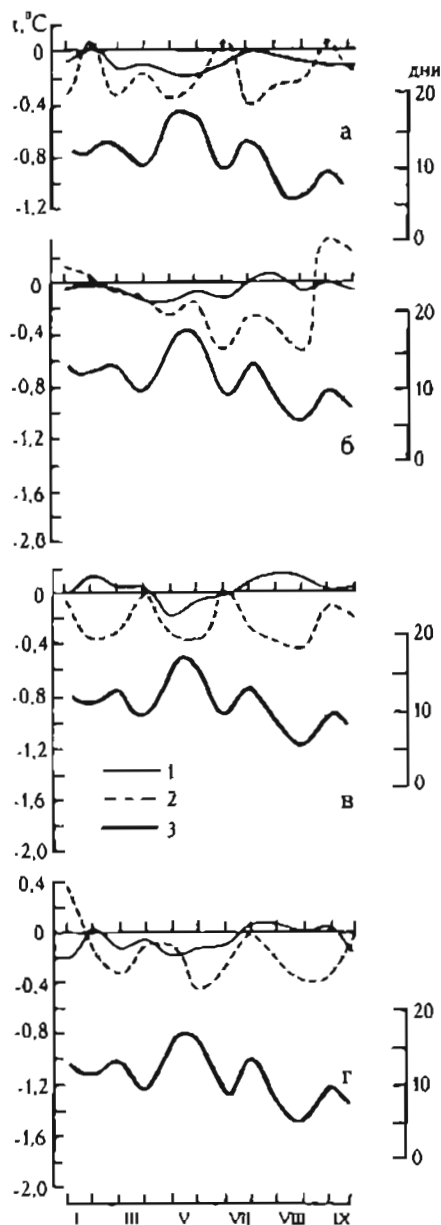


Рис. 3. Годовая продолжительность меридиональных воздушных переносов в Южной Атлантике [15] и действия блокирующих процессов в Северной Атлантике по календарю ЭЦМ Северного полушария: а — Патагонский шельф (46° ю.ш. — 60° з.д.); б — Южные Шетландские острова (61° ю.ш. — 60° з.д.); в — о. Южная Георгия (54° ю.ш. — 36° з.д.); г — Южные Оркнейские о-ва (61° ю.ш. — 45° з.д.); 1 — средние многолетние значения, 2 — значения за 1987 г., 3 — продолжительность действия блокировок в Северной Атлантике в 1987 г.

Fig. 3. Annual duration of air mass transfers in South Atlantic [15] and of blocking processes action in North Atlantic from the ECM Northern Hemisphere calendar: (а) — Patagonian Shelf (46°S; 60°W); (б) — S. Shetland Islands (61°S; 60°W); (в) — S. Georgia Island (54°S; 36°W); (г) — S. Orkney Islands (61°S; 45°W); 1 — mean long-term data, 2 — data for 1987, 3 — duration of blocking processes in South Atlantic in 1987

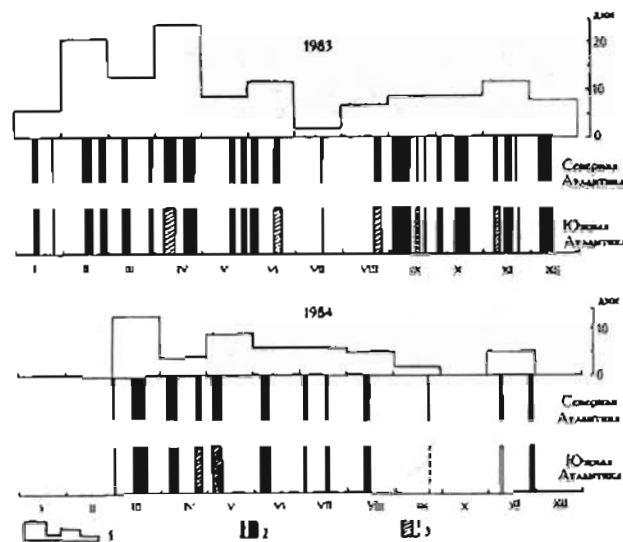


Рис. 4. Сопоставление годового хода продолжительности блокирующих процессов в Северной Атлантике (по календарю ЭЦМ Северного полушария) и в море Уэдделла Южной Атлантики (по результатам анализа ледовых карт Антарктиды [26]). Значения для 1983 и 1984 гг.: 1 — число дней с блокировками за месяц в Северной Атлантике, 2 — периоды одновременного действия процессов блокировок в Северной и Южной Атлантике, 3 — периоды, для которых отсутствуют данные по морю Уэдделла

Fig. 4. Comparison of annual variation in blocking processes duration in North Atlantic (from the ECM Northern Hemisphere calendar) and the Weddell Sea in South Atlantic (from the results of Antarctic ice maps analysis [26]). The values for 1983 and 1984: 1 — number of days with blocking processes in a single month in Northern Atlantic, 2 — periods of blocking processes simultaneous action in North and South Atlantic, 3 — periods for which the data on the Weddell Sea are not available

движении айсбергов, пересекающих примерно под прямым углом перемычки высокого давления в Антарктике, должны отразить интенсивность развития блокирующих процессов в целом для Атлантического сектора. Скорости дрейфа айсбергов В1 (12x18 км) и В2 (5x18 км) за 1983 и 1984 гг. рассчитывались по изменениям их положения на картах ледового атласа в пределах области гребней высокого давления моря Уэдделла. На рис. 5 хорошо выражена контрфазность в ходе интенсивности синхронно развивающихся процессов блокировок в Атлантическом секторе и скорости движения айсбергов.

Все доказательства синхронности блокирующих процессов на севере и юге Атлантики, представленные на рис. 3 — 5, свидетельствуют о том, что они имели место как с начала 70-х годов, так и в 80-е годы. Кроме того полученные данные показывают, что действие гребней высокого давления в Южной Атлантике распространяется от побережья Антарктиды в море Уэдделла по крайней мере до 40-х широт. Это согласуется с положением блокировок в Южной Атлантике на картах П.Д.Астапенко и Б.Л.Дзердзеевского (см. рис. 2 и 3).



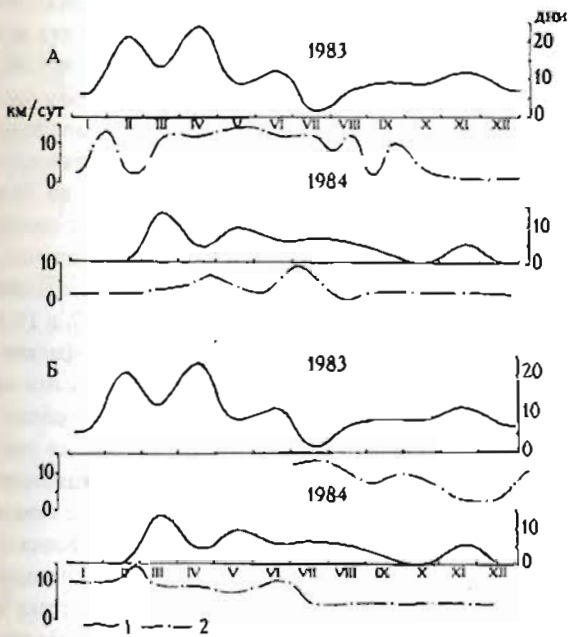


Рис. 5. Сопоставление годовой продолжительности блокирующих процессов в Северной Атлантике (1) и средней скорости дрейфа антарктических айсбергов В1 (А) и В2 (Б) у побережья моря Уэдделла в Южной Атлантике в 1983 и 1984 гг.

Fig. 5. Comparison of blocking processes in North Atlantic (1) and mean velocity of the drift of Antarctic icebergs B1 (A) and B2 (Б) near the Weddell Sea coast in South Atlantic in 1983 and 1984

Для характеристики блокирующих процессов в Северной Атлантике с 1976 по 1986 г. по аналогии с четырьмя районами Южной Атлантики (см. рис. 3) мы использовали данные о теплосодержании деятельного слоя воды в Норвежском море из [19]. На рис. 6 хорошо видна зависимость температуры воды от интенсивности летних блокирующих процессов и вторжений холодных арктических масс в Норвежское море. Такие же зависимости выявлены для всех четырех районов Южной Атлантики, показанных на рис. 3. Для одного из них — Южных Оркнейских островов со станцией Оркадас — имеются наиболее длинные для Антарктики ряды метеорологических данных и наблюдений за состоянием льда в море Скоша. В [18] выполнен анализ этих данных, а также приведены сведения о существовании определенной связи гидрометеорологических условий в Субантарктике и приполюсном районе. Установлено также, что многолетние циклические колебания термобарических и ледовых условий в районе станции Оркадас соизмеримы с колебаниями климата в Арктике. При этом многолетние годовые изменения температуры воздуха и давления в полярных районах совпадают по фазе, что имеет физическое обоснование.

Разные многолетние гидрометеорологические показатели района Южных Оркнейских островов и моря Уэдделла рассмотрены и в [17], где было за-

мечено, что усиление или ослабление адвекции вод моря Уэдделла сопровождается соответственно похолоданием или потеплением приземного слоя воздуха в южной части моря Скоша. Эта закономерность отчетливо проявилась в теплый летний (январь — март) период 1965 г., когда аномалии температуры воздуха и слоя воды 0 — 50 м были связаны с ослаблением адвекции холодных вод с юга и аномальным для 1965 — 1975 гг. смещением тоже к югу зоны взаимодействия моря Уэдделла и Антарктического циркумполярного течения.

Приведенные выводы и заключения, а также результаты проведенных нами исследований позволяют считать, что Южные Оркнейские острова — наиболее репрезентативный район для изучения многолетних изменений климата и циркуляционных процессов, в том числе блокирующих, как в Южной Атлантике, так и в Атлантическом секторе в целом.

На основе всех имеющихся сведений о синхронности циркуляционных процессов в полярных районах Атлантики мы исследовали влияние интенсивных атлантических блокировок на динамику ледников, находящихся непосредственно или косвенно под влиянием гребней высокого давления (см. рис. 2). На рис. 7 видно, что все три пары кривых в основном указывают на одни и те же периоды интенсивных блокирующих процессов в Атлантическом секторе, хотя для станции Оркадас были использованы температуры воздуха в январе и июле (вместо зимних и летних). Особенно резкие понижения тем-

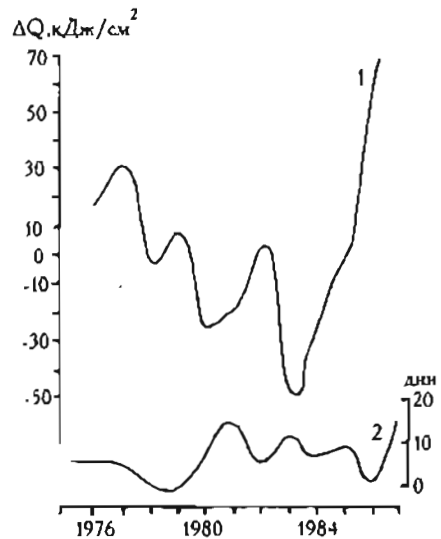


Рис. 6. Сравнение аномалий колебаний теплосодержания  $\Delta Q$  слоя 0 - 200 м в Норвежском море (1) по данным [19] и числа дней с блокировками в Северной Атлантике (2) по календарю ЭЦМ Северного полушария в июне

Fig. 6. Comparison of heat content fluctuations  $\Delta Q$  within the 0 - 200 m layer in the Norwegian Sea (1) acc. to [19] and of the number of days with blocking in North Atlantic (2) based on the ECM Northern Hemisphere calendar in June

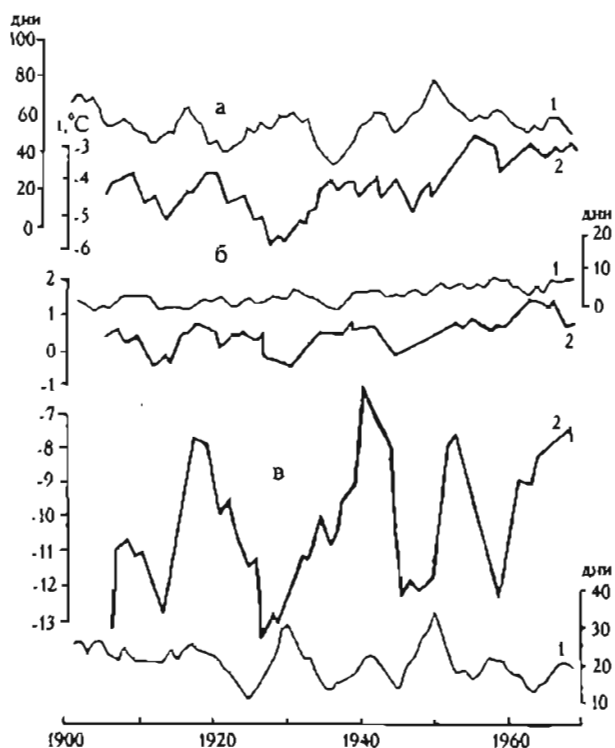


Рис. 7. Годовые и сезонные характеристики блокирующих процессов на севере и юге Атлантического сектора. Изменчивость числа дней с блокировками в Северной Атлантике (1) по календарю ЭЦМ Северного полушария и температуры воздуха (2) на станции Оркадас в Южной Атлантике (5-летние скользящие средние) по [18]: а — за год (1, 2); б — зима (1), январь (2); в — лето (1), июль (2)

Fig. 7. Annual and seasonal characteristics of the blocking processes in the north and south of the Atlantic sector. Variability of the number of days with blocking processes in North Atlantic (1) based on the ECM Northern Hemisphere calendar and air temperature (2) at Orcadas Station in South Atlantic (5-year mean averages) acc. to [18]: а — for the year (1, 2); б — for the winter (1), January (2); в — for the summer (1), July (2)

пературы воздуха, а значит и интенсивные блокирующие процессы, наблюдались в июле со стороны Антарктиды. Следует отметить, что мы проанализировали данные о температуре воздуха с 70-х годов прошлого века по 70-е годы нынешнего для зимы и лета на 75 — 80° с.ш. [22], а также изменения температуры воздуха в районе Шпицбергена с начала века до 80-х годов [4]. Оказалось, что независимо от времени года в периоды повышения числа блокировок на полушарии и в Северной Атлантике наблюдалось понижение температуры воздуха (см. рис. 7). В связи с этим при дальнейшем изложении первые две кривые для года (см. рис. 7а) как наиболее выразительные мы будем использовать в качестве показателей синхронности развития блокирующих процессов на севере и юге Атлантического сектора.

Представленные на рис. 8А центры оледенения (Шпицберген и Гренландия) неодинаково располагаются относительно гребней высокого давления (см.

рис. 2). При этом оси главных гребней, согласно многолетним данным, в большей мере проходят над Гренландией, а Шпицберген остается восточнее. Кроме того, оледенение районов тесно связано с расположением главных центров действия атмосферы Северного полушария. В настоящее время установлено, что эти центры с конца прошлого века до 70-х годов нынешнего неоднократно смещались от своего среднего многолетнего положения как по широте, так и по долготе. Наиболее заметными эти смещения были в 30-е и 40-е годы. Так, по данным [20], в 1931 — 1940 гг. (вторая циркуляционная эпоха) траектории полярных вторжений оказались смещенными на 20° долготы к востоку по отношению к их положению в 1906 — 1915 гг. (первая циркуляционная эпоха). При этом интенсивная зимняя циркуляционная деятельность сместилась на 5 — 10° широты с севера Европейского континента на Баренцево и Карское моря. В соответствии с [2], в 1928 — 1942 гг. помимо смещения исландского минимума к юго-востоку и затем к юго-западу, а азорского максимума к северо-западу, затем к северо-востоку, отмечались минимальные значения мгновенного полюса вращения Земли. В этот период произошло сближение обеих пар центров действия атмосферы, т.е. усиление зональной циркуляции. Именно он и назван периодом интенсивного потепления климата во всех районах Северного полушария.

Перечисленные особенности, очевидно, не могли не сказаться на характере колебаний краев ледников Гренландии и Шпицбергена, что и выразилось в сокращении их активности и соответственно площадей в 30 — 40-е годы (см. рис. 8А). Из рисунка также следует, что в целом для исследуемого периода увеличение числа блокировок в Атлантическом секторе как раз приходится на эти годы. Как показал совместный анализ колебаний центров действия атмосферы и ледников Гренландии и Шпицбергена, на всем исследуемом отрезке времени наиболее четко прослеживается связь между периодическим смещением по широте азорского максимума, увеличением числа блокирующих процессов и динамикой краев ледников. На рис. 8А также видно, что в периоды наиболее интенсивного развития блокировок гренландские ледники (3) практически всегда отступали или стационарировали, будучи более активными в интервалах между максимумами блокировок. Ледники же Шпицбергена (4) наступали в основном накануне и в периоды максимумов блокирующих процессов, испытывая активные подвижки именно в момент блокировок, а затем отступали. Эти особенности выразились в короткопериодической контрфазности (до 15 лет) кривых колебаний ледников Гренландии и Шпицбергена.

При анализе динамики центров действия атмосферы и ледников прослеживалась также следующая зависимость: периоды или отдельные годы активизации ледников Шпицбергена (стрелки на рис. 8А) и максимумы числа блокировок неоднократно совпа-



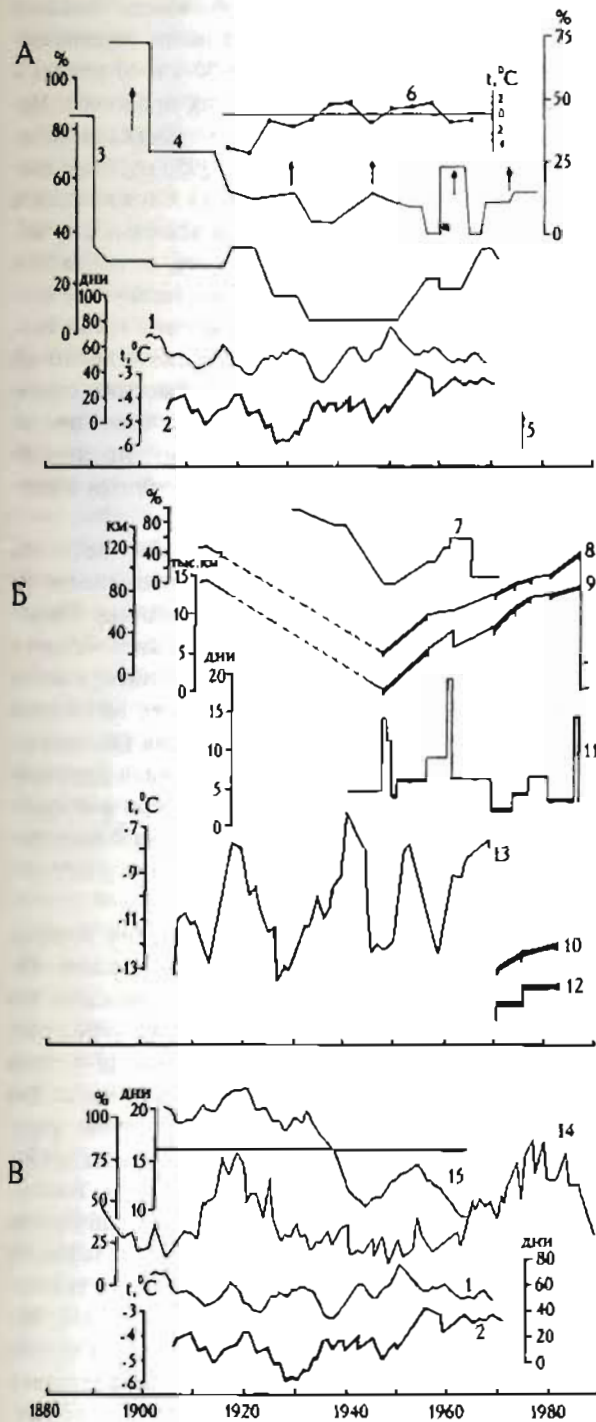


Рис. 8. Колебания ледников, блокирующие процессы и некоторые показатели климата в отдельных центрах оледенения Атлантического сектора и Европы. 1 — изменчивость числа дней с блокировками за год в Северной Атлантике, 2 — средняя годовая температура воздуха на станции Оркадас в Южной Атлантике. А — ледники Гренландии (3) [16] (количество наступающих в %); ледники Шпицбергена (4) [16] (количество наступающих в %); наиболее активные проявления подвижек ледников Шпицбергена (5) по [16]; средняя годовая температура воздуха на ледоразделе Гренфьорд — Фритьюф о. Западный Шпицберген (6) по [4]. Б — ледники о. Южная Георгия (7) [12] (количество наступающих в %); шельфовый ледник Фильхнера в Антарктиде (8, 9, соответственно изменения положения барьера по 40° з.д. и площади краевой части ледника); периоды ускорения движения барьера и приращения площади ледника (10); продолжительность действия процессов блокировок в Северной Атлантике в июле (11); периоды снижения интенсивности блокировок, соответствующие периодам ускорения движения шельфового ледника Фильхнера (12); средняя температура воздуха в июле на станции Оркадас (13) по [18]. В — ледники Швейцарских Альп (14) [25] (количество наступающих в %); продолжительность действия широтного переноса воздушных масс в Атлантике и Европе (15) [24]

Fig. 8. Glacier fluctuations, blocking processes and some climate parameters in separate centers of glaciation in the Atlantic sector and in Europe. 1 — variability of the number of days with blocking processes in a year in North Atlantic, 2 — mean annual air temperature at Orcadas Station in South Atlantic. A — Greenland glaciers (3) [16] (number of advancing glaciers, %); Spitzbergen glaciers (4) [16] (number of advancing glaciers, %); most active manifestations of Spitzbergen glaciers surges (5) [16]; mean annula air temperature at Greenfiord-Fritiof ice divide, West Spitzbergen Island (6) [4]. B — South Georgia island glaciers (7) [12] (number of advancing glaciers, %); Filchner ice shelf in Antarctica (8, 9), (accordingly, changes of barrier location along WL 40° and of marginal parts of glacier area); periods of accelerated barrier movement and increase of glacier area (10); duration of blocking processes action in North Atlantic in July (11); periods of lower intensity of blocking processes, corresponding to periods of accelerated movement of Filchner ice shelf (12); mean air temperature in July at Orcadas Station (13) acc. to [18]. B — glaciers of Swiss Alps (14) [25] (number of advancing glaciers, %); duration of latitudinal transfer of air masses over the Atlantic Ocean and in Europe (15) [24]

дали с достаточно быстрым смещением с востока на запад азорского максимума. Подобные смещения последнего повторялись не менее пяти раз с начала века до 80-х годов и, согласно сопоставлению с данными [21], всегда совпадали с пиками резкого возрастания продолжительности действия ЭЦМ 3 Северного полушария с блокировками над Гренландией (ситуация показана на рис. 2). В такие интервалы времени исландский минимум, как правило, смещался к востоку в сторону Шпицбергена.

При анализе выяснилось также, что в периоды с максимумами числа блокировок района Шпицберге-

на достигали холодные арктические выносы, способствующие активизации ледников в течении 5 — 7 лет. Известно, что с интенсивными выносами воздушных масс, согласно [5], в большей степени могут быть связаны многолетние изменения уровня арктических морей, а именно катастрофические нагоны. После смещения азорского максимума к западу по истечении также 5 — 7 лет интенсивность холодных арктических вторжений, а не исключено, что и сгонно-нагонных изменений уровня в районе Шпицбергена, по-видимому, достаточно быстро ослабевали, и на смену им поступали теплые воздушные массы

другого происхождения. Такие резкие изменения условий существования ледников Шпицбергена вызывали заметные их отступления с 1915 г. до 70-х годов (см. рис. 8А). Поскольку оледенение Шпицбергена значительно меньше Гренландского ледникового покрова, нельзя не учитывать замедленную реакцию последнего на такие изменения климата. Тем не менее, на наш взгляд, одной из главных причин короткопериодической контрфазности в динамике края ледников исследуемых оледенений служат различия в их расположении относительно осей блокирующих гребней высокого давления.

Все рассмотренные особенности колебаний ледников, как показал дальнейший анализ, согласуются и с изменением ледовых условий, и с выносом айсбергов из районов оледенений. Так, было выявлено совпадение периодов интенсивного развития процессов блокировок, отступаний гренландских ледников и максимумов количества айсбергов к югу от 48° с.ш. из [23]. В то же время оказалось, что достаточно хорошо совпали наступания ледников Шпицбергена, периоды интенсивного развития блокирующих процессов западнее архипелага и максимумы многолетних колебаний средней за апрель — август ледовитости в Северо-Европейском бассейне из [6]. В последнем случае блокировки должны были препятствовать выносу морских льдов в Атлантику, а также способствовать понижению температуры, связанному с прорывами холодных арктических воздушных масс к Шпицбергену.

Характерно, что перечисленные выше гидрометеорологические параметры каждого из районов, как и сами короткопериодические колебания ледников Гренландии и Шпицбергена, также в основном находились в контрфазе по отношению друг к другу. В совокупности асинхронность в ходе всех этих процессов указывает на различия в характере одновременно происходивших воздушных переносов в районе западной и восточной периферий блокирующих гребней высокого давления. Короткопериодические смещения гребня к одному из центров оледенения приводят к снижению циклоничности в его районе, смене условий питания ледников, облому и накоплению айсбергов и морских льдов, а затем выносу их при снижении интенсивности блокирующих процессов.

В отличие от двух разобранных выше центров оледенения Северной Атлантики протяженный фронт шельфового ледника Фильхнера и ледники Южной Георгии (см. рис. 8Б) располагаются непосредственно в области распространения антарктических гребней высокого давления. Судя по приведенным выше результатам анализа рис. 3 — 5, воздействие блокирующих гребней на ледники этих двух южнополярных районов Атлантического сектора должно проявиться и в характере колебаний их краев. Действительно, как видно на рис. 8Б, со второй половины 40-х до 70-х годов нашего века изменения в динамике ледников Южной Георгии и барьера шельфового ледника Фильхнера в основном согласуются. В

начале этого отрезка времени отмечалось наиболее значительное отступление края ледников, обусловленное общим потеплением в конце 30-х и 40-х годов и интенсивным ростом блокирующих процессов. Наступание, в особенности быстрая подвижка шельфового ледника Фильхнера в 1947 — 1956 гг., было связано с резким снижением числа блокировок и началом активной циклонической деятельности, которая продолжалась, судя по рисунку, до конца 50-х годов. Последовавшее за этим новое увеличение числа блокировок и похолодание некоторое время способствовали дальнейшему наступанию ледников Южной Георгии. Далее в условиях быстрого сокращения блокирующих процессов и усиления циклонической деятельности, по-видимому, произошло отступление (обломы) далеко продвинувшихся в морские фьорды ледниковых языков.

Важная особенность существования ледников Южной Георгии, в отличие от расположенного на побережье Антарктиды шельфового ледника Фильхнера, заключается в их постоянном взаимодействии с Антарктическим циркумполярным течением, в поясе которого располагается остров. Скорее всего этим объясняется быстрая реакция ледников (значительные отступления) на потепление 40-х годов и сравнительно высокий процент наступаний при похолоданиях в периоды интенсивного развития блокирующих процессов в конце 20-х — начале 30-х и на рубеже 50-х и 60-х годов.

Исследование динамики шельфового ледника Фильхнера, для которого имеется относительно длительный ряд наблюдений (см. рис. 8Б) показало, что два одинаково грандиозных обломов айсбергов от его края (первый ориентировочно в начале 40-х годов [13], второй в июне — июле 1986 г.) произошли при схожих условиях. Во-первых, в обоих случаях этому предшествовало выдвижения края ледника до наиболее дальнего положения в сторону моря. Аналогичная ситуация наблюдалась и в 1961 г. при обломе крупного айсберга от западной части шельфового ледника Фильхнера, также достигшей своего крайнего морского положения (кривая 9 на рис. 8Б). Во-вторых, все указанные обломы айсбергов, как следует из рисунка, были связаны с резким возрастанием продолжительности действия блокирующих процессов на севере и юге Атлантики (см. рис. 8Б, 11, 13). Ярким, относительно недавним свидетельством подобных явлений было крайнее аномальное развитие атмосферных процессов в 1987 г. в море Уэдделла и в районе Южных Шетландских островов [15]. В это время действие гребней высокого давления сопровождалось усиленным выносом холодных воздушных масс со стороны Антарктиды, что обусловило образование больших аномалий температуры воздуха и воды, а также суровые ледовые условия.

Данные по изменениям площади и скорости наступания барьера шельфового ледника Фильхнера (см. рис. 8Б, 8, 9) позволяют говорить также о том, что в периоды интенсивного развития блокирующих



процессов в Южной Атлантике, не связанные с образованием айсбергов, снижались темпы наступания шельфового ледника Фильхнера. Наоборот, в периоды активной циклонической деятельности (утолщенные участки кривой 11) имели место подвижки барьера ледника и соответственно более интенсивное наращивание его площади (утолщенные участки кривых 8, 9). Подобные взаимосвязи хорошо согласуются с полученными нами данными по изменениям скорости дрейфа антарктических айсбергов В1 и В2 в зависимости от увеличения или уменьшения числа блокировок как раз у антарктического побережья с шельфовым ледником Фильхнера. Таким образом, краевая часть шельфового ледника, так же как и крупные айсберги, дрейфующие рядом с ним и имеющие практически такую же осадку, замедляют свое движение при интенсивных гребнях высокого давления и ускоряют темпы наступания и дрейфа при снижении числа блокировок и усилении циклонической деятельности.

Области действия гребней высокого давления Атлантического сектора, как было показано выше, могут распространяться на большие площади морских акваторий и влиять на динамику крупных по площади массивов морских льдов и айсбергов. С этой точки зрения мы проанализировали многолетние изменения термобарических и ледовых условий в ледяном массиве Уэдделла [18, 27] и многолетнюю изменчивость блокирующих процессов в Атлантическом секторе. Оказалось, что с 1905 по 1960 г. в периоды интенсивного развития блокировок число дней со льдом в море Скоша, а соответственно и в море Уэдделла, увеличивалось, а в периоды ослабления гребней высокого давления и усиления циклонической деятельности оно уменьшалось. Полученные данные подтверждают также сведения об изменениях северных границ распространения льдов массива Уэдделла [11, 17, 18]. Так, к 1931 г. их хромка находилась в самом северном положении и достигала о. Южная Георгия. Именно в это время в Южной Атлантике блокирующие процессы были наиболее интенсивными, температуры наиболее низкими, а ледовые условия самыми тяжелыми.

Заключительным результатом нашего анализа были данные о синхронности максимумов числа айсбергов к югу от 48° с.ш. в Северной Атлантике [23], изменений площади и числа дней со льдом массива Уэдделла в Южной Атлантике, а также периодов интенсивного развития блокирующих процессов в Атлантическом секторе. Указанные районы одинаково смещены к западу относительно осей гребней высокого давления. На всем отрезке времени, для Северной Атлантики с 1903 по 1980 г., а для Южной с 1905 по 1960 г., исследованные взаимосвязи неоднократно четко прослеживались. Это позволяет говорить о том, что в Атлантическом секторе блокирующие процессы в периоды их повышенной интенсивности могут вызывать синхронные изменения циркуляционных и соответственно ледовых условий на значитель-

ных по площади морских акваториях, охваченных влиянием гребней высокого давления и одинаково ориентированных по отношению к ним.

Последний из анализируемых нами районов оледенения — Альпы (см. рис. 2) [25], как и Шпицберген, располагаются восточнее области распространения блокирующих гребней высокого давления, но в периоды своего максимального развития их южные окончания достигают широт альпийских ледников и оказывают на них влияние. Возможность этого подтверждают данные из [24], согласно которым атмосферные процессы над европейским сектором и Альпами тесно связаны с циркуляцией над соседними секторами — атлантическим и сибирским. Зимой наиболее часты процессы, при которых Атлантика и Европа охвачены интенсивной циклонической деятельностью, а над Сибирью развивается мощный антициклон, периодически усиливающийся за счет арктических вторжений и дающий отрог на запад. Это широтные процессы в Атлантике и Европе и долготные в Сибири. Именно они определяют вековой ход зимней циркуляции в Европе, что хорошо прослеживается на рис. 8В (кривые 14, 15).

Как видно на рис. 8В, степень влияния циклонической деятельности в Атлантике и Азиатского антициклона на атмосферные процессы в Европе, а соответственно на питание и динамику альпийских ледников менялась. В первую циркуляционную эпоху (для европейского сектора 1899 — 1935 гг.) при одновременной активной циклонической деятельности в Атлантике и Европе ледники Швейцарских Альп повсеместно наступали. Максимум наступаний пришелся на 10-е — 20-е годы нашего столетия. Во второй эпохе (после 1936 г.), когда значительно усилилась роль арктических вторжений, с которыми связано увеличение продолжительности действия долготных процессов как над Сибирью, так и над Европой, альпийские ледники повсеместно отступали и сокращались. Как уже было рассмотрено выше, произошедшие изменения в циркуляции связаны со взаимным смещением (сближением) в 30 — 40-х годах центров действия атмосферы — исландской депрессии и азорского максимума. При этом оси арктических вторжений оказались сдвинутыми к востоку на 20° — 30°, а преобладающие пути циклонов сместились на 5 — 10° к северу. Исследования зависимости зимних осадков от характеристик барического поля Атлантики показали, что в такие периоды количество осадков в северных районах Европы растет, а в южной половине, т.е. там, где располагаются Альпы, уменьшается [24]. Эта тенденция, как видно, нашла отражение на рис. 8В. По рис. 8В можно проследить также контрфазность кривых колебаний ледников (14) и характеристик блокирующих процессов в Атлантическом секторе (1, 2), которая проявилась как в вековом ходе, так и в короткие периоды (до 10 — 15 лет). Совместный анализ продолжительности действия широтных и долготных процессов в Атлантике — Европе — Сибири, колебаний ледников Альп, изме-



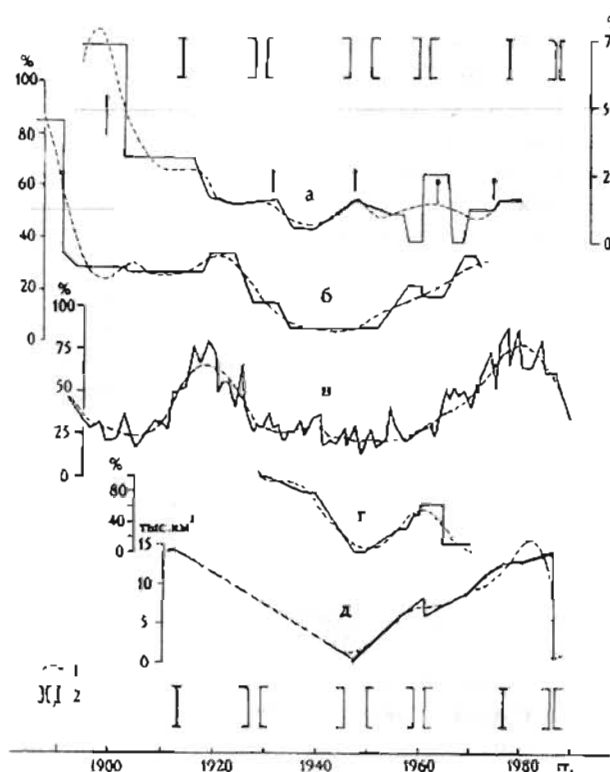


Рис. 9. Общие тенденции колебаний ледников полярных районов Атлантики и в Европейском секторе: а — Шпицберген, б — Гренландия, в — Швейцарские Альпы, г — о. Южная Георгия, д — шельфовый ледник Фильхнера в Антарктиде; 1 — скользящие средние 5-летние значения, 2 — начало и окончание периодов с максимумами блокирующих процессов на севере и юге Атлантического сектора (по изменениям продолжительности действия блокировок в Северной Атлантике и температуры воздуха на станции Оркадас [18] в Южной Атлантике)

Fig. 9. Common trends of glacier fluctuations in the polar regions of Atlantic and in the European sector: а — Spitzbergen, б — Greenland, в — Swiss Alps, г — South Georgia Island, д — Filchner ice shelf in Antarctica; 1 — 5-year mean averages, 2 — beginning and end of periods with maximums of blocking processes in the north and south of the Atlantic sector (based on the variability of duration of blocking processes action in North Atlantic and of air temperature at Orcadas Station [18] in South Atlantic)

нения интенсивности блокировок и смещений центров действия атмосферы Атлантики по широте и долготе показал, что в большей степени короткопериодный характер перечисленных многолетних показателей связан со смещениями с запада на восток и обратно азорского максимума. Подобную особенность мы выявили ранее при рассмотрении взаимосвязей динамики полярных ледников Северной Атлантики, блокирующих процессов и смещений центров действия атмосферы. В среднем для альпийских ледников более благоприятными были периоды между максимумами блокирующих процессов в Атлантическом секторе, когда азорский антициклон сразу же после очередного максимума блокировок смещался

к западу от своего среднего многолетнего положения. В такие периоды продолжительность действия зимних широтных переносов воздуха в Атлантике и Европе, как правило, возрастала, что способствовало наступаниям альпийских ледников.

Анализ многолетней продолжительности действия зимних и летних широтных процессов в Атлантике и Европе по данным [9], колебаний ледников Альп и характеристик блокирующих процессов показал следующее. Короткопериодные колебания летних широтных процессов и, в частности, периоды заметных уменьшений продолжительности их действия хорошо согласуются с понижениями температур при максимуме блокировок (см. рис. 8В). Характерно, что проявляется также короткопериодическая контрафазность (до 10 лет) в продолжительности действия зимних и летних широтных процессов в Атлантике и Европе, т.е. преобладание в отдельные годы одних приводило к сокращению других. При этом наиболее благоприятными оказываются периоды, когда меньше развиты летние широтные процессы и больше продолжительность действия зимних. Эта тенденция сохраняется и в вековом ходе данных показателей. Так, продолжительность действия летних широтных процессов в Атлантике и Европе значительно возросла в 30-е и 40-е годы, что привело к снижению активности альпийских ледников и их сокращению.

Общая черта колебаний ледников всех рассмотренных районов заключается в схожем характере их векового хода со значительными отступлениями в 30 — 40-е годы XX столетия (рис. 9). Как уже указывалось выше, в этот период произошло сближение обеих пар центров действия атмосферы Северного полушария, усиление зональной циркуляции, потепление, и многолетняя изменчивость числа блокировок в Атлантическом секторе имела максимальные значения. Мы не располагаем данными о динамике главных центров действия атмосферы Южного полушария в зональную эпоху, но, учитывая все приведенные выше свидетельства синхронности циркуляционных процессов на севере и юге Атлантики, а также миграций границ распространения льдов в море Уэдделла, можно предположить, что подобные перестройки атмосферной циркуляции в этом полушарии также были.

Говоря о роли блокирующих процессов в развитии оледенения всех районов, отметим, что помимо выявленных общих черт в вековом ходе колебаний ледников достаточно четко прослеживаются и короткопериодные изменения, связанные с цикличностью максимумов числа блокирующих процессов в Северной и Южной Атлантике. Во всех рассмотренных случаях, кроме оледенения Шпицбергена, такие периоды оказываются менее благоприятными для существования ледников. Это прежде всего объясняется тем, что распространяющиеся далеко от полюсов в сторону экватора гребни высокого давления блокируют западный перенос воздушных масс и лишают ледники необходимого количества осадков. При этом

в районах оледенения, расположенных на перифериях гребней высокого давления, условия питания ледников могут существенно отличаться от таковых в области блокировок и быть более благоприятными для затока воздушных масс с осадками выше нормы. К таким районам как раз и относится Шпицберген, подвижки ледников которого происходили именно в периоды повышения интенсивности блокирующих процессов.

Другая особенность проявившаяся на ледниках Атлантического сектора под непосредственным влиянием гребней высокого давления, заключается в том, что в периоды максимума числа блокировок на больших по площади морских акваториях значительно ослабевают господствующие в обычные годы течения и циклоническая деятельность. В такие годы, как видно на рис. 9, ледники практически всех районов чаще отступают, обламываясь в виде айсбергов или находятся в стационарном состоянии. Это вполне согласуется с данными по колебаниям ледников Антарктиды [13], активность краевых частей которых также значительно снижается при ослаблении циклонической деятельности в Южной полярной области и, наоборот, подвижки и наступания ледников преобладают в периоды интенсивных меридиональных процессов в Антарктике и на полушарии. Таким образом, как для антарктических ледников, так и для рассмотренных нами ледников крупных арктических центров оледенения, реакция на усиление циклонической деятельности выражается в возрастании числа наступаний и подвижек. Это характерно и для горных арктических, и альпийских ледников. Однако для морских ледников арктических покровов, как и для шельфовых и выводных ледников Антарктиды, подвижки и наступания, по всей видимости, связаны также и с воздействием на их краевые части морских барических волн циклонов.

Итак, подведем некоторые итоги. Синхронность блокирующих процессов на полушариях, отмеченная при сопоставлении одновременно развивающихся процессов по типизациям Б.Л. Дзержевского и П.Д. Астапенко с начала века до 70-х годов, наблюдается и в настоящее время. В вековом ходе развития блокирующих процессов Атлантического сектора с максимумом в 40-е годы проявляются циклы с продолжительностью до 15 лет, связанные, как оказалось, с периодическим смещением по широте азорского максимума. В лучшей мере эти циклы выразились в колебаниях ледников Шпицбергена.

Ледники районов оледенения, расположенных в области распространения гребней высокого давления Атлантического сектора, чутко реагируют на изменчивость и периодичность числа блокировок, препятствующих поступлению осадков к ледникам. При повышении интенсивности блокирующих процессов они снижают свою активность или отступают, это проявилось как в вековом ходе колебаний ледников, так и в короткие отрезки времени.

Реакция ледников на повышение интенсивности

блокирующих процессов в секторе в основном одинакова. Однако их расположение относительно осей блокирующих гребней существенно влияет на характер воздушных переносов в центрах оледенений и проявляется в короткопериодической контрафазности колебаний ледников. Выяснено, что краевая часть шельфового ледника Фильхнера, находящегося непосредственно в области антарктических гребней высокого давления, так же как и крупные айсберги, дрейфующие рядом с ним, замедляют свое движение при интенсивных блокирующих процессах и ускоряют темпы наступания и дрейфа при снижении числа блокировок и усилении циклонической деятельности.

В периоды интенсивного развития гребней высокого давления в полярных районах Атлантического сектора и соседних с ним районов могут задерживаться большие по площади массивы морских льдов, которые в годы с минимумом блокировок существенно сокращаются. Это свидетельствует о том, что при максимуме блокирующих процессов на больших по площади акваториях Атлантического сектора происходит снижение интенсивности господствующих течений и циклонической деятельности. Ледовитость в полярных районах Атлантики, расположенных к западу и востоку от осей гребней высокого давления, так же как и колебания ледников и циркуляционные условия в этих районах, находится в короткопериодной оппозиции по отношению друг к другу. На морских акваториях полушарий непосредственно в областях гребней высокого давления ледовые условия меняются одинаково. Так, в целом для сектора удалось установить синхронность максимумов ледовитости в море Уэдделла Южной Атлантики и количестве айсбергов, выносимых к 48° с.ш. из арктического бассейна.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Астапенко П.Д. Атмосферные процессы в высоких широтах Южного полушария. М., Из-во АН СССР, 1960, 282 с.
2. Байдал М.Х. Влияние полюса атмосферной циркуляции на синоптические процессы и погоду умеренных широт. — *Циркуляция атмосферы в полярных областях*. Сб. докл. на всес. симп., май 1974 г., Л., 1978, с 14-27.
3. Гирс А.А. О взаимосвязи между циркуляцией атмосферы в Арктике и Антарктике. — *Информ. бюлл. САЭ*, N2, 1958, с. 21-24.
4. Гляциология Шпицбергена. М., "Наука", 1985, 200 с.
5. Дворкин Е.Н., Захаров Ю.В., Мустафин Н.В. Сезонные и многолетние колебания уровня арктических морей. — *Проблемы Арктики и Антарктики*, вып. 60, 1985, с. 10-17.
6. Деметьев А.А., Зубакин Г.К. Оценка многолетних колебаний некоторых климатообразующих факторов Северо-Европейского бассейна. — *Тр. ААНИИ*, т. 404, 1988, с. 107-117.
7. Дзержевский Б.Л. Сравнение главнейших закономерностей циркуляции атмосферы над юж-

- ным и северным полушариями. — Информ. бюлл. САЭ, N65, 1967, с. 58-68.
8. Дзердзеевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX столетии. — Материалы метеорол. исслед. Циркуляция атмосферы. М., 1968, 240 с.
  9. Дзердзеевский Б.Л. Сопоставление характеристик атмосферной циркуляции над северным полушарием и его секторами. — Материалы метеорол. исслед. Циркуляция атмосферы, М., 1970, с. 9-18.
  10. Дзердзеевский Б.Л., Курганская В.М., Витвицкая З.М. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов. — Тр. НИУ ГУГМС, сер. II, вып. 21, М.-Л., 1946, 80 с.
  11. Добромислов В.Н., Масленников В.В. О межгодовой и многолетней изменчивости распространения льда в Атлантическом секторе Антарктики. — Антарктика. Докл. комиссии, вып. 18, 1979, с. 113-117.
  12. Захаров В.Г. Колебания шельфовых и выводных ледников Антарктиды. — МГИ, вып. 62, 1988, с. 41-51.
  13. Захаров В.Г. Колебания ледников Антарктиды. М., Аккоринформиздат, 1994, 128 с.
  14. Захаров В.Г., Хмелевская Л.В. Колебания ледников и изменения циркуляционных процессов в полярных районах Атлантики и европейском секторе в XX столетии. — Тезисы докл. на междунар. симп. "Сезонные и многолетние колебания нивальных и гляциальных процессов в горах", Ташкент, 1993, с. 11, 12.
  15. Ковалев А.Д., Чернега Г.А., Яковлев В.Н. Некоторые особенности гидрометеорологических условий в западной части Атлантического сектора Южного океана в 1987 г. — Антарктика. Докл. комиссии, вып. 30, 1992, с. 26-30.
  16. Корякин В.С. Ледники Арктики. М., "Наука", 1988, 158 с.
  17. Масленников В.В., Солянкин Е.В. О межгодовых смещениях зоны взаимодействия вод моря Уэдделла и Антарктического циркумполярного течения. — Антарктика. Докл. комиссии, вып. 18, 1979, с. 118-122.
  18. Петров Л.С., Любарский А.Н. Многолетняя изменчивость термобарических и ледовых условий в районе Южных Оркнейских островов. — Исслед. климата Антарктиды. Л., 1980, с. 59-65.
  19. Романцов В.А., Афанасьев Б.В., Лебедев Н.В. Пространственные и временные закономерности теплового состояния вод Северо-Европейского бассейна. — Проблемы Арктики и Антарктики, вып. 65, 1991, с. 24-43.
  20. Савина С.С., Хмелевская Л.В. Характеристика приземного барического поля северного полушария в экстремальные десятилетия циркуляционных эпох в XX столетии. — Иссл. генезиса климата. М., 1974, с. 97-108.
  21. Савина С.С., Хмелевская Л.В. Динамика атмосферных процессов северного полушария в XX столетии. — Материалы метеорол. исслед. Циркуляция атмосферы. N 9, 1984, 146 с.
  22. Сазонов Б.И. Суровые зимы и засухи. Л., ГИМИЗ, 1991, 240 с.
  23. Субботин В.В. К вопросу о роли морского льда в динамике климатической системы Арктики. — Тр. ААНИИ, т. 404, 1988, с.82-97.
  24. Хмелевская Л.В. Сопряженность зимних циркуляционных процессов над Европой с циркуляцией соседних секторов. — Исслед. генезиса климата. М., 1974, с.117-128.
  25. Aellen M., Herten E. Die Gletscher der Schweizer Alpen 1989/90 und 1990/91. — III. Und II. Bericht, Jahrbuch der Gletscherkommission der SANW, 1994, 126 s.
  26. Antarctic ice sheets 1983-1984. Naval polar oceanography center, Washington.
  27. Fletcher J.O. Ice extent of the Southern Ocean and its relation to the World Climate. California, 1969, 108 p.

#### SUMMARY

Studies of the dynamics of Arctic and Antarctic as well as alpine glaciers in the conditions of blocking processes occurring in the north and south of Atlantic were based on the conclusion drawn by B.L.Dzerdzevsky that the high pressure ranges in the sectors of hemispheres of the same name are synchronized (typization of B.L.Dzerdzevsky — P.D.Astapenko). It is established that activity of arctic, antarctic and alpine glaciers declines (they retreat or are broken off), when blocking processes develop intensively. During such periods, blocking processes more than ever obstruct access of precipitation to glaciers. Position of the latter relative to the axes of Atlantic sector ranges determines the character of air transfers in the areas of glacierization. At the same time, the conditions of circulation in the center and on the periphery of blocked areas may be quite different. There may be wind-effected phenomena on the periphery in case of intense blockings and polar fans causing the sea-level to vary.

Differences of this nature were manifest in short-term counter-phase fluctuations of glaciers in Greenland located near the axes and of Spitzbergen peripheral glaciers. When blocking processes reached their peak, large masses of sea ice were accumulated on the water surfaces of the Atlantic sector, the intensity of dominant flows and cyclonic activity dropped.