

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

© В. М. МАКЕЕВ

ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА АРКТИКИ

На протяжении всей геологической истории на Земле происходили квазипериодические колебания климата различной продолжительности — от нескольких десятков миллионов лет до нескольких лет. Все эти изменения были вызваны воздействием как астрономических, так и земных факторов. К астрономическим факторам, обуславливающим долгопериодные изменения климата, относятся: светимость Солнца, галактические циклы Солнечной системы, гравитационное воздействие на Землю Солнца и других планет Солнечной системы, скорость вращения Земли, колебания ее оси (прецессия) и наклона по отношению к плоскости орбиты (эклиптика), изменение ее радиуса орбиты при движении вокруг Солнца (эксцентриситет), влияние Луны, вызывающей за счет приливного трения замедление вращения Земли, и ряд других [2, 12].

Из земных факторов наибольшее влияние на климат оказывают изменяющееся соотношение площади суши и океана, вызванное движением литосферных плит, вулканическая и горообразовательная деятельность, колебания уровня Мирового океана, изменение схем океанических течений и подъем холодных глубинных океанических вод на поверхность, колебание площадей наземного и морского оледенения, вариации содержания в атмосфере двуокси углерода и метана, крупномасштабная атмосферная циркуляция и мн. др.

Вхождение Солнечной системы на галактической орбите в фазу «галактической зимы» привело в позднем кайнозое, и особенно на плейстоценовом этапе развития Земли, к существенному похолоданию глобального климата [2, 4, 6, 12] и последовавшей за этим серии обширных оледенений планеты, прерываемых более теплыми межледниковыми периодами, во время которых значительная часть континентальных ледников деградировала. Оледенение продолжалось сохраняться лишь в Антарктиде и Гренландии. В целом за последние 600 тыс. лет континентальные оледенения возникали и исчезали в среднем за период около 100 тыс. лет [11]. Различия в глобальной температуре воздуха между ледниковыми и межледниковыми периодами составляли 12 °С. Внутри ледниковых и межледниковых периодов также происходили квазипериодические изменения климата (фазы, стадиалы), что нашло свое отражение и в геологических напластованиях, и в формах рельефа, и в динамике биотических компонентов ландшафта. При этом если чередование ледниковых и межледниковых периодов (включая стадиалы) было обусловлено прежде всего астрономическими причинами, то для менее продолжительных интервалов времени на колебания климата наряду с астрономическими факторами влияние оказывали и процессы, происходившие в основных природных средах Земли. К таким процессам, например, можно отнести изменения в уровне Мирового океана и в схемах течений, площадях наземного и морского оледенения, в вулканической активности, в изменениях траекторий движений воздушных масс и др. Влияние этих земных факторов приводило к тому, что реакция климатической системы на региональном уровне для различных районов могла отличаться как по продолжительности теплых и холодных фаз, так и по амплитуде.

О весьма сложной пространственно-временной структуре изменений климата в Арктике за последние 20 тыс. лет, а вместе с этим и других природных процессов свидетельствует множество новых данных [3, 7—10, 15].

Характерными примерами являются изменения, произошедшие в природной среде во время последнего плейстоценового глобального похолодания, максимум которого пришелся на 18—20 тыс. л. н. В это время на Европейском Севере произошло развитие мощного покровного оледенения с центрами на Шпицбергене и Скандинавском полуострове. Температура воздуха существенно понизилась в зимний и летний периоды. В перигляциальной зоне за пределами ледниковых покровов произошла перестройка ландшафтов: лесные ландшафты сменились тундровыми.

На громадных пространствах азиатской Арктики наземное оледенение не получило заметного развития из-за дефицита атмосферных осадков, вызванного перехватом Скандинавским ледниковым щитом влажных атлантических воздушных масс, ранее поступавших в Азиатский регион. Падение уровня Мирового океана (на 120—130 м), прекращение водообмена между Тихим и Северным Ледовитым океанами, осушение шельфов мелководных арктических морей, значительное сокращение площади акватории Северного Ледовитого океана в совокупности с уменьшением атмосферных осадков на севере Азии привели к резкому усилению континентальности климата (очень холодная зима и сравнительно теплое лето), интенсивному промерзанию горных пород и развитию подземного оледенения. Подобная климатическая обстановка способствовала формированию на равнинах (включая современный шельф) весьма специфического тундро-степного ландшафта с богатым и разнообразным растительным покровом, обеспечивающим весьма благоприятные условия для обитания здесь многочисленных животных мамонтового комплекса (мамонты, бизоны, шерстистые носороги, лошади, сайгаки, олени, овцебыки и др.).

Неоднозначно отреагировали природные комплексы Арктики и на глобальные потепления в послеледниковое (голоценовое) время. Наиболее раннее голоценовое потепление, имевшее место 10 000—8700 тыс. л. н., отчетливо проявилось лишь в природных комплексах восточной части Азиатской Арктики (к востоку от Северной Земли). Летние температуры повысились здесь не менее чем на 4—5 °С (по сравнению с современными), что повлекло за собой смещение растительных подзон далеко к северу. Например, на Новосибирских островах (о-в Котельный) в это время в долинах рек произрастала лесотундровая растительность, весьма активными были термокарстовые и термоабразионные процессы [8]. В Европейской Арктике подобных проявлений не обнаружено.

Глобальное потепление 6—5 тыс. л. н. (голоценовый климатический оптимум) очень хорошо проявилось в Западной Арктике. Температура июля была здесь на 4—5 °С выше современной, что привело к продвижению границы леса на 200—300 км к северу. В Азиатской Арктике это потепление оказалось незначительным и природные комплексы не претерпели существенных изменений. Такая несинхронная реакция природных комплексов на глобальные изменения климата вызвана в первом случае (для раннего голоцена), скорее всего, влиянием остаточного ледникового покрова, сохранившегося до 10 тыс. л. н. на территории Скандинавии, а во втором (для среднего голоцена) — охлаждающим влиянием Северного Ледовитого океана, уровень которого в результате послеледниковой (фландрской) трансгрессии достиг значений, близких к современному.

В целом в структуре квазипериодических колебаний температуры воздуха в Арктике за голоценовый период выделяется несколько разновременных циклов [9]. Их продолжительность колеблется в достаточно широких пределах от 1.2 до 4 тыс. лет. При этом начало и конец потеплений и похолоданий в разных районах могли наступать как одновременно, так и разновременно (вплоть до их полной асинхронности). Так, потепление, проявившееся на Шпицбергене, в Большеземельской тундре, на Ямале 1.5—2 тыс. л. н., в большинстве районов Азиатской Арктики не проявилось, более того, летние температуры воздуха стали ниже современных. И наоборот, при похолодании климата в этих же районах около 2.5 тыс. л. н., на большей части Азиатской Арктики (Северная Земля, Новосибирские острова, Чукотка) произошло потепление.

Примером синхронных изменений климата в Арктике являются похолодание в интервале 10.5—11 тыс. л. н., XV—XIX вв. (малая ледниковая эпоха) и потепление около 9.7 и 4 тыс. л. н., IX—XIV вв. (эпоха «викингов»).

Вместе с тем, несмотря на сложную структуру колебаний температуры воздуха в Евразийской Арктике, можно выделить по крайней мере 3 климатические провинции, где последовательность, направленность и амплитуда колебаний температуры воздуха, начало и конец фаз циклов наиболее близки друг к другу. Это Европейская климатическая провинция (1), Восточно-азиатская арктическая провинция (2) и занимающая промежуточное положение между ними Западно-азиатская арктическая провинция (3) (рис. 1).

Европейская арктическая провинция занимает всю территорию севера Европы, вплоть до Полярного Урала, включая архипелаги Шпицберген, ЗФИ, Новая Земля. Для нее характерны сверхвековые циклические колебания температуры с хорошо выраженными более продолжительными фазами потепления по сравнению с фазами похолодания продолжительностью от 0.2 до 1.3 тыс. лет и амплитудой температуры воздуха между самым теплым и самым холодным периодом 4—6 °С. Направленность изменений температуры воздуха за голоцен характеризуется постепенным потеплением в послеледниковое время до климатического оптимума (около 6—5.5 тыс. л. н.), после которого последующие колебания не достигали такой амплитуды и в целом климат был более холодным по сравнению со средним голоценом. В настоящее время эта климатическая провинция прошла холодную фазу и находится в начале теплой.

Для Восточно-азиатской арктической провинции, охватывающей районы архипелага Северная Земля, Новосибирских островов, о-ва Врангеля, большую часть Чукотского полуострова, северные участки Восточной и Средней Сибири, характерными являются колебания температуры с еще более продолжительными фазами (до 2 тыс. лет), с большей амплитудой температуры воздуха между теплыми и холодными фазами (до 8—9 °С), проявлением климатического оптимума 10—8.8 тыс. л. н.

Температурная кривая имеет явно выраженный более теплый ранний голоцен, менее теплый — средний голоцен и самый холодный — верхний голоцен. Колебания летних температур за средний и поздний голоцен не превышали 2—3 °С. На данный момент климатическая провинция находится в начале теплой фазы.

Для Западно-азиатской арктической провинции, охватывающей территорию п-овов Ямал, Тазовский, Гыданский и значительную часть п-ова Таймыр, в сверхвековой цикличности отмечено проявление 1800—1900-летнего ритма с относительно короткой ксеротермической фазой (200—400 лет) и более продолжительной плювиальной фазой, на конец которой чаще всего приходится похолодание климата. В целом для голоцена этой провинции характерен более теплый по сравнению с Европейской Арктикой нижний голоцен, особенно теплый средний голоцен (климатический оптимум приурочен к интервалу 6—5 тыс. л. н.) и более холодный верхний голоцен. Провинция находится в начале теплой и, скорее всего, ксеротермической фазы.

Квазиритмические колебания климатических параметров (прежде всего температуры и осадков) продолжают проявляться в Арктике и на протяжении всех последних десятилетий. В работе [1] показаны отклонения от норм средней годовой температуры воздуха и осадков за 70-летний период (с 1935 по 2003 г.) в бассейнах морей Северного Ледовитого океана. На приведенных графиках для всех бассейнов отчетливо просматриваются 3 периода: два более теплых — в 30—40-х гг. и последние 25—30 лет и холодный — в 50—70-х гг. XX в. При этом амплитуда отклонения от нормы для Западной и Центральной Арктики (бассейны морей Баренцева, Карского, Лаптевых) для теплого периода 30—40-х гг. была выше по сравнению с последними десятилетиями, т. е. температура воздуха в 30—40-е гг. для большей части Западной и Центральной Евразийской Арктики была выше по сравнению с последними десятилетиями. Важно также отметить, что тренд температуры за 70-летний период для этих бассейнов является отрицательным, а амплитуда колебания имеет явно выраженный региональный характер, как и на протяжении всего голоцена (рис. 2).

Для бассейнов Восточно-Сибирского и Чукотского морей и особенно для моря Бофорта амплитуда отклонений от нормы в 30—40-е гг. оказалась меньшей по сравнению с последними десятилетиями, а общий тренд температуры — положительный (рис. 2).

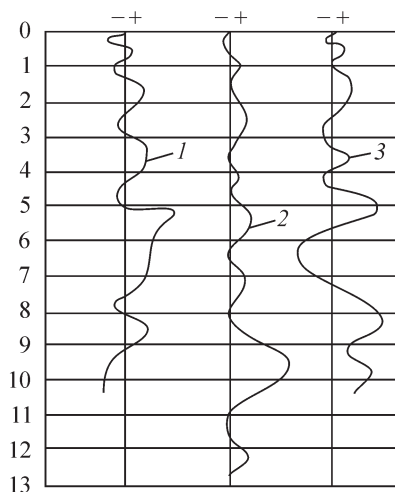


Рис. 1. Палеоклиматические кривые, характеризующие колебания температуры воздуха относительно современных в различных провинциях Арктики.

1 — Европейская арктическая климатическая провинция (Шпицберген), 2 — Восточно-азиатская арктическая провинция (Новосибирские острова), 3 — Западно-азиатская арктическая провинция (Таймыр).

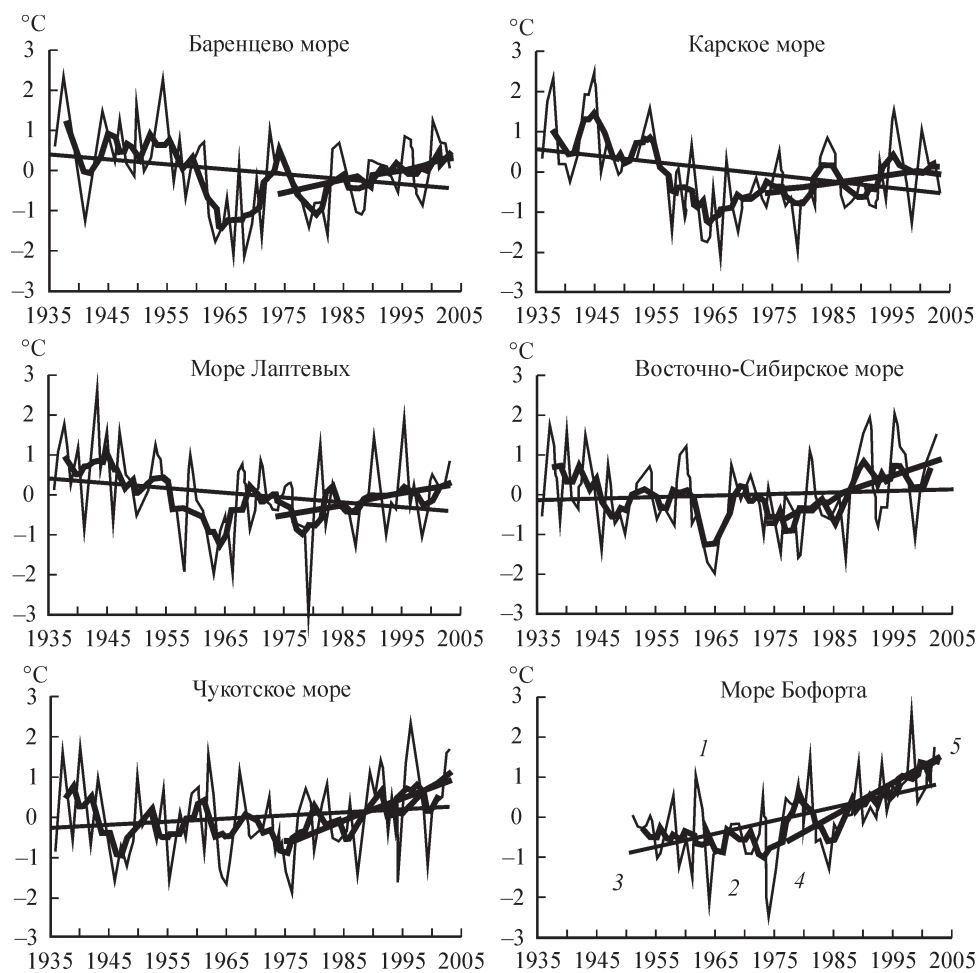


Рис. 2. Межгодовые изменения нормированных аномалий среднегодовой температуры воздуха, °C (по [1]).

1 — нормированные аномалии; 2—5 — летние скользящие; 3—5 — линейный тренд за 1936—2003, 1974—2003 и 1994—2003 гг. соответственно.

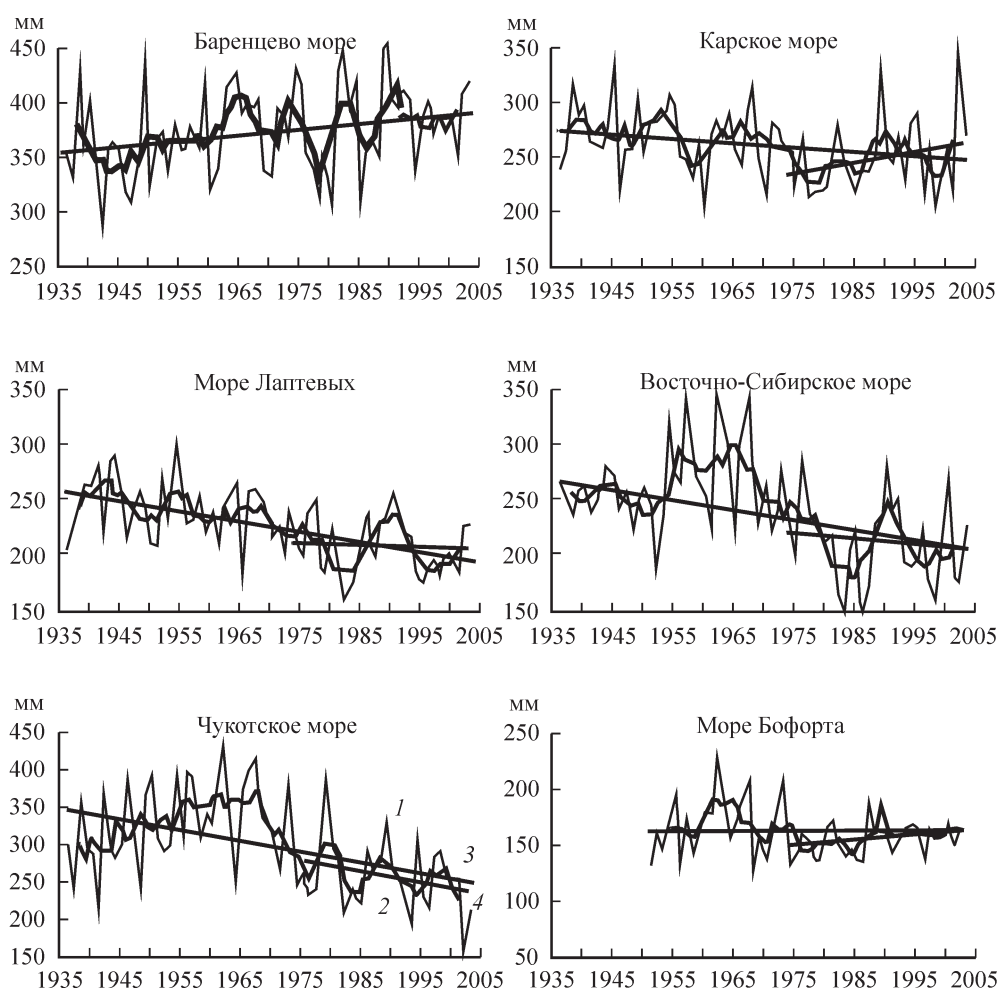


Рис. 3. Межгодовой ход сумм атмосферных осадков, мм.

1 — суммы осадков (по [1]), 2 — летние скользящие суммы осадков, 3, 4 — линейный тренд за 1936—2003 и 1974—2003 гг. соответственно.

Для осадков отмечается совершенно иная картина. Для большинства бассейнов за рассматриваемый период характерен отрицательный тренд и лишь для бассейна Баренцева моря — положительный (рис. 3).

Как известно, потепления полярного климата происходили в основном за счет увеличения адвекции тепла, поступающего от экватора к полюсам в результате атмосферных и океанических переносов. Благодаря этому процессу при глобальном потеплении климата рост температуры воздуха в полярной области должен быть в 2—3 раза выше общеглобального, что по существу и отмечалось при потеплении в первой половине XX в., когда глобальная температура воздуха выросла на 0.5 °С. В последние годы, по оценке Межправительственной группы экспертов по изучению климата (МГЭИК), глобальная температура выросла на 0.7—0.8 °С. Этот рост произошел, по их мнению, за счет быстро увеличивающихся в атмосфере антропогенных парниковых газов (CO₂, CH₄ и др.). Влияние на рост глобальной температуры других, прежде всего самих природных, факторов при оценке по существу не учитывалось [13].

Однако у большинства специалистов по климату Арктики возникает вопрос, почему в 20—40-е гг. прошлого столетия, когда рост в атмосфере парниковых газов был не-

значительным, произошло глобальное потепление, а в 50—70-х гг. при интенсивном поступлении парниковых газов в атмосферу наступило, наоборот, похолодание климата в Северном полушарии.

Анализ вышеприведенных кривых по изменению температуры воздуха за 70-летний период также не дает оснований согласиться с выводами МГЭИК по следующим соображениям:

— рост температуры воздуха за последние 30 лет для значительной части территории евразийской части Арктики не превосходит и даже ниже аналогичных показателей для периода 20—40-х гг., не говоря о более ранних эпизодах (эпоха «викингов», климатический оптимум голоцена), притом что глобальная температура поднялась на 0.2—0.3 °С выше по сравнению с предыдущим этапом;

— тренд температуры в Арктике для тех же территорий до последнего времени остается отрицательным, в то время как за этот же период наблюдается быстрый экспотенциальный рост в атмосфере парниковых газов.

Отсюда можно сделать вывод, что при изменениях климатических параметров в Арктике по-прежнему решающую роль играют природные факторы. Но какие? К сожалению, до настоящего времени не существует общепринятой точки зрения по этому вопросу. Не останавливаясь детально на анализе существующих гипотез, объясняющих причины климатической цикличности в Арктике, автор склонен все же согласиться с теми исследователями, которые связывают ее происхождение с гравитационными изменениями, возникающими на нашей планете в результате совокупного воздействия трех наиболее крупных планет Солнечной системы — Сатурна, Юпитера и Урана — на активность Солнца, скорость вращения Земли, изменения силы тяжести и колебания оси вращения к полюсу Земли. Это хорошо показано в работе А. А. Дмитриева и В. А. Беязо, посвященной изучению влияния космических факторов на климатическую изменчивость и атмосферные процессы в полярных регионах [5].

Согласно мнению вышеуказанных авторов, наиболее четко выраженными для Арктики являются 11, 20, 60, 80—90-летние циклы. Природа 11-летнего цикла определяется угловым положением Сатурна и Юпитера, соединение которых осуществляется приблизительно через 20 лет. Цикл 60 лет является производной от составляющих его трех последовательных соединений планет Сатурна и Юпитера.

Наибольшее значение положительных аномалий температуры (через 60 лет) отмечается в годы, когда соединение планет происходит на гелиодолготных, близких к наименьшему среднему, расстояниях между перигелиями этих планет около долготы 30°. В эти периоды планеты находятся наиболее близко к Солнцу и их возмущающий момент наибольший.

В одной из таблиц в указанной работе приведены почти за 400-летний период значения годовых аномалий температуры воздуха и угловой скорости вращения Земли в годы соединения и противостояния Юпитера и Сатурна (см. таблицу), которые достаточно убедительно свидетельствуют о существовании 60-летнего цикла. Кроме того, установлено, что в годы, близкие к соединению планет Юпитера и Сатурна на оптимальных долготах, экстремальные положительные аномалии температуры воздуха по времени совпадают с максимальными значениями скорости вращения Земли, а в годы, близкие к противостоянию Юпитера и Сатурна, экстремально отрицательные аномалии температуры воздуха по времени совпадали с минимальными значениями скорости вращения Земли. Разность во времени между этими явлениями для положительных значений не превышала 1—2 года, а для отрицательных — 2—4 года.

80—90-летние циклы А. А. Дмитриев и В. А. Беязо связывают с влиянием на изменения солнечной активности приливообразующей силы планеты Уран, период обращения которой вокруг Солнца составляет 84 года.

Подводя итог вышеизложенному, можно сделать следующие выводы. Климат Арктики и его основная составляющая — термический режим — в настоящее время, как и в историческом прошлом, продолжает сохранять квазипериодический колебательный характер, несмотря на однонаправленный рост парниковых газов в земной атмосфере. Следовательно, на колебания климата продолжает оказывать более сильное влияние

Значение годовых аномалий температуры воздуха и угловой скорости вращения Земли и годы соединения и противостояния Юпитера и Сатурна (по [5])

Годы соединения	Аномалия температуры		Угловая скорость вращения Земли	
	Год	Максимум	Год	Максимум
1581	1580	0.1		
1642	1641	0.1		
1702	1703	0.05	1700	124.4
1762	1764	0.32	1766	30.1
1822	1824	0.38	1820	186.9
1881	1880	0.1	1882	60.8
1940	1939	1.3	1933	38.2
2000	2000	1.8	2000	-83.8
Годы противостояния				
1611	1610	-0.78		
1672	1674	-0.62	1676	-57.9
1735	1734	-0.38	1734	29.5
1791	1785	-0.61	1792	-61.9
1851	1845	-0.45	1851	-60.2
1911	1905	-1	1910	-486.1
1971	1966	-1.3	1972	-370.9

природный фактор, нежели антропогенный. Наглядно этот вывод иллюстрируют процессы, происходящие в Северном Ледовитом океане в последние годы, где в связи с похолоданием в зимние месяцы процесс сокращения ледяного покрова сменился на интенсивный рост как по площади, так и по толщине. Так, только к концу лета 2008 г. ледовитость всех морей восточного сектора Арктики выросла более чем на 0.6×10^6 км², что превышает площадь уменьшения ледяного покрова всех морей евразийского шельфа за весь XX в. [14].

Список литературы

- [1] Александров Е. И., Брызгин Н. А. Тенденции в изменении приземной температуры воздуха и атмосферных осадков в Арктике // Тр. ААНИИ. 2008. Т. 446. С. 31—40.
- [2] Астрономия. Энциклопедия. М.: Аванта+, 1997. 686 с.
- [3] Большаков Д. Ю., Священников П. А., Федоров Г. Б., Павлов М. В., Теребенко А. В. Изменения климата за последние 10 000 лет // Изв. РГО. 2002. Т. 134. Вып. 1. С. 20—27.
- [4] Владимирский Б. М., Нарманский В. Я., Темуриянц И. А. Космические ритмы. Симферополь: НР, 1994. 176 с.
- [5] Дмитриев А. А., Белязо В. А. Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов. СПб.: Гидрометеоздат, 2006. С. 358.
- [6] Ефимов А. А., Заколдаев Ю. А., Шпитальная А. А. Астрономическое обоснование абсолютной геохронологии // Проблемы исследования Вселенной. 1985. Вып. 10. С. 185—201.
- [7] Макеев В. М. Долгопериодные колебания климата в Арктике и их влияние на природную среду и социально-экономическое развитие территорий // Сб. трудов конф. в рамках III Междунар. полярного года. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2008. С. 99—101.
- [8] Макеев В. М. Основные особенности развития природной среды Евразийской высокоширотной Арктики в позднем плейстоцене и голоцене // Проблемы кайнозойской палеоэкологии и палеогеографии морей СЛО. Тез. докл. III Всес. конф. Апатиты, 1989. С. 105—107.
- [9] Макеев В. М., Большаков Д. Ю. Температура воздуха в голоцене // Климатический режим Арктики на рубеже XX и XXI вв. Гл. 5. Л.: Гидрометеоздат, 1991. С. 160—169.
- [10] Макеев В. М., Питулько В. В. Новые данные о природных условиях в конце позднего плейстоцена—начале голоцена в высокоширотной Азиатской Арктике и времени ее заселения древним человеком // ДАН СССР. 1992. Т. 319. № 2. С. 435—437.

- [11] *Миланкович М.* Математическая климатология и астрономическая теорема колебаний климата. М.; Л.: ГОНТИ, 1939. 207 с.
- [12] *Монин А. С., Шишков Ю. А.* История климата. Л.: Гидрометеониздат, 1979. 407 с.
- [13] Обзорный отчет программы «Оценки воздействия изменений климата в Арктике (АСИА)». Изд-во Кембриджского ун-та, 2003.
- [14] *Фролов И. Е., Гудкович З. М., Карклин В. П., Смоляницкий В. М.* Шестидесятилетняя цикличность в изменениях климата полярных регионов // Материалы гляциологических исследований. 2008. Вып. 105. С. 159—165.
- [15] *Makeyev V. M. and et.* Vegetation and Climate of the New Siberian Islands for the Post 15000 years. Arctic, Antarctic and Alpine Research. 2003. Vol. 35. N 1. P. 56—66.

Санкт-Петербург
onyak@mail.ru

Поступило в редакцию
2 марта 2010 г.

Изв. РГО. 2011. Т. 143. Вып. 1

© П. В. НОВОРОЦКИЙ

СОВРЕМЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В БАССЕЙНЕ АМУРА И НА ПОБЕРЕЖЬЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Крупные реки Дальнего Востока, к которым принадлежит Амур, наряду с другими природными объектами испытывают современные климатические изменения. Амур — одна из крупнейших рек мира. Длина ее от истока р. Аргуни составляет 4444 км. Общая площадь бассейна 1 856 000 км², в которую не включена бессточная область (164 000 км²) р. Керулен. Протяженность амурского бассейна в широтном направлении превышает 3000 км, а с юга на север составляет около 2000 км (рис. 1). Среди российских рек Амур занимает 3-е место по длине и 4-е по площади водосбора и водности, уступая лишь Енисею, Оби и Лене [1].

Промежуточное географическое положение между двумя областями с различными физико-географическими условиями — влажными прибрежными районами Тихого океана на востоке и засушливыми континентальными пространствами Восточной Сибири и Монголии на западе — определяет неоднородность климатических условий в бассейне Амура. Климат формируется под воздействием как океанических, так и континентальных воздушных масс. Вследствие этого он изменяется от резко континентального в западной части бассейна до умеренно-континентального с муссонными чертами — в восточной [1, 3, 5, 6, 8].

Исходными материалами для исследования многолетних климатических колебаний в бассейне Амура послужили ряды среднемесячной температуры воздуха и месячных сумм атмосферных осадков за период с 1891 по 2008 г. С этой целью были использованы климатологические справочники, фондовые материалы Дальневосточного и Приморского управлений гидрометслужбы, а также базы данных Национального управления по океану и атмосфере США (NOAA Global History Climatic Network, Global Daily Climatology Network (<http://www.ncdc.noaa.gov>)).

Наиболее продолжительные ряды наблюдений за температурой воздуха и атмосферными осадками (90—120 лет) в бассейне Амура имеются по ограниченному числу станций: Николаевск-на-Амуре, Хабаровск, Екатерино-Никольское, Благовещенск, Чита, Могоча, Нерчинский Завод, Борзя, Бомнак, Экимчан, Бисса, им. Полины Осипенко, Дальнереченск, Приморская, Хайлар, Цицикар, Харбин, Бугат, Чанчунь, Муданьцзян. Для расчетов средних для всего бассейна Амура климатических параметров были дополнительно использованы материалы других станций, имеющих более ко-