

ГРАВИТАЦИОННЫЙ ФАКТОР ДИНАМИКИ ГЛЯЦИАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

В. В. Поповнин, В. М. Федоров

Московский государственный университет, географ. ф-т, 119899, Москва, Воробьевы горы, Россия

Предпринята попытка описания колебательных гляциальных процессов с использованием астрономической системы отсчета, физическую основу которой составляет гравитационное взаимодействие. Спектральному анализу подвергнуты временные ряды прямых измерений баланса массы избранных горных ледников Земли, а также палеобалансовая реконструкция репрезентативного для Кавказа ледника Джанкуат. На основе сравнения результатов с планетарной ритмикой, определены астрономические аналоги колебательных гляциальных процессов, отражающие проявление гравитационных факторов в гляциосфере Земли и представляющие основу для моделирования колебаний баланса массы горных ледников.

Горные ледники, цикличность, баланс массы, спектральный анализ, гармоника

GRAVITATION FACTORS OF THE DYNAMICS OF GLACIAL PROCESSES

V. V. Popovnin, V. M. Fyodorov

Moscow State University, Department of Geography, 119899, Moscow, Vorobjovy Gory, Russia

Oscillatory glacial processes are intended to be described by means of astronomic reference system, with gravitational interaction representing its physical essence. Mass balance time series, directly measured on a number of selected glaciers of the world as well as paleobalance reconstruction for Djankuat Glacier, representative for the Caucasus, are subjected to spectrum analysis. After comparing results with the planetary rhythmic pattern, astronomic analogues of oscillatory glacial processes are revealed. They reflect manifestation of gravitational factors in the Earth's glaciopause and may serve as a basis for simulating mass balance fluctuations of alpine glaciers.

Glaciers, cyclicity, mass balance, spectrum analysis, harmonics

Известная в настоящее время информация о цикличности в природе позволяют признавать ритмическую изменчивость характерным свойством многих явлений и процессов в гляциосфере Земли. Однако отдельные вопросы, связанные с объяснением причин различных осцилляций в географической оболочке и созданием репрезентативных прогностических моделей циклических процессов, остаются неясными.

Одной из возможных причин природных флуктуаций может быть проявление фундаментального физического взаимодействия — гравитационного [Шнитников, 1964; Тушинский, 1966; Романчук, 1980; Берри, 1991; Чижевский, 1995; Федоров, 1997]. Теоретической предпосылкой исследований природных процессов в атмосфере и гляциосфере северного полушария Земли с позиций космо-земного взаимодействия стали идеи А.В.Шнитникова. „По нашему представлению, одним из основных факторов развития ландшафтной оболочки Земли и в особенности многих явлений изменчивости ее и ее отдельных компонентов является приливообра-

зующая сила как функция закона всемирного тяготения. Интенсивность воздействия приливообразующей силы меняется в зависимости от взаиморасположения Земли, Луны и Солнца“ [Шнитников, 1964]. При этом отмечается, что воздействие приливообразующей силы имеет ритмичный характер, циклический или периодический, а реакция — квазипериодический.

А.В.Шнитниковым также предложена общая схема, объясняющая механизм реализации гравитационного взаимодействия в гидросфере, атмосфере и гляциосфере Земли. Основные ее положения сводятся к следующему. Гравитацией вызвано формирование на планете внутренних волн, с которыми в гидросфере Земли связан вынос на поверхность океанов (прежде всего, в Арктических и Антарктических областях) холодных глубинных вод и охлаждение поверхностных слоев. Увеличение ледовитости морских бассейнов приводит к охлаждению прилегающих к поверхности вод слоев атмосферы. При этом происходит изменение термического режима атмосферы и смещение зоны

меридионального переноса воздушных масс в более низкие широты. С увеличением ледовитости Арктических и Антарктических водных бассейнов и со смещением в низкие широты меридионального переноса атмосферных масс усиливается циклоническая деятельность и, следовательно, увлажненность средних и высокоширотных зон материков, т. е. происходит понижение средних летних температур и увеличение зимних. В связи с изменением условий общего увлажнения и температурного режима — увеличением осадков на материках и с уменьшением общего испарения — улучшаются условия сохранения влаги на материках, что приводит к увеличению общего стока, и прежде всего речного, повышению уровня озер, росту энергии оледенения, массообмену горных ледников и к увеличению баланса их массы [Шнитников, 1964, 1969].

Детальный анализ подразумевает построение адекватных моделей такого воздействия и соответствующего объяснения характеристик различных природных флуктуаций. В рамках настоящей работы мы ограничимся спектральным анализом временных рядов динамики баланса массы (b_n) современных горных ледников, а особенности в спектрах временных рядов сравниваем с параметрами движения внешних по отношению к Земле планет Солнечной системы. Таким образом, для описания колебательных природных процессов (цикличности) нами используется астрономическая система отсчета, физическую основу которой составляет гравитационное взаимодействие. Указание на аналогии в спектрах гляциальных и планетарных процессов является основной целью данной работы.

Спектральному анализу были подвергнуты наиболее длинные временные ряды b_n 16 горных ледников. Ряды составлены по данным, опубликованным в регулярных изданиях Всемирной службы мониторинга ледников „Fluctuations of glaciers“ и „Glacier mass balance bulletin“. Средняя длина ряда составила 29 лет. Известно, что задача анализа временных рядов включает выделение его составляющих: тренда, регулярных колебаний относительно тренда, эффекта сезонности и случайной компоненты („белого шума“). Эффект сезонности в данном случае исключается величиной шагового интервала временного ряда, равного 1 году. Схемы анализа временных рядов подробно разобраны в литературе [Дженкинс, Ваттс, 1971, 1972; Бокс, Дженкинс, 1974; Кендал, Стьюарт, 1976; Отнес, Эноксон, 1982]. В связи с изложенной выше задачей мы ограничили анализом спектра в соответствии с рекомендацией классического пособия [Дженкинс, Ваттс, 1971, 1972]. Все расчеты проводились с использованием программного пакета Мезозавр,

специально предназначенного для такого рода исследований.

В качестве параметров движения отдельных планет принимались значения их сидерических (для Марса — синодического) периодов, а также значения $T/2$ и $T/4$ (полупериод и четверть периода), являющихся кардинальными в фазовых положениях планет, связанных с изменением их гелиоцентрических расстояний (от минимального в перигелии до максимального в афелии). Для конфигураций двух планет в качестве параметров принимались периоды их последовательных соединений (конъюнкция — гелиоцентрические долготы планет одинаковы), а также $1/2$ и $1/4$ этих периодов, соответствующие фазовым положениям планет в противостоянии

Таблица 1. Периоды и фазы планетных конфигураций и обращения планет

Средняя продолжительность периода конфигурации или обращения, годы	Планета или планетная конфигурация	Периоды и фазы конфигурации или обращения
2,03	Марс-Сатурн	T
2,13	Марс	T (синодический)
2,22	Марс-Юпитер	T
2,97	Юпитер	$T/4$
3,21	Юпитер-Нептун	$T/4$
3,45	Юпитер-Уран	$T/4$
4,97	Юпитер-Сатурн	$T/4$
5,93	Юпитер	$T/2$
6,40	Юпитер-Нептун	$T/2$
6,91	Юпитер-Уран	$T/2$
7,37	Сатурн	$T/4$
8,69	Сатурн-Нептун	$T/4$
9,94	Юпитер-Сатурн	$T/2$
11,29	Сатурн-Уран	$T/4$
11,86	Юпитер	T
12,79	Юпитер-Нептун	T
13,81	Юпитер-Уран	T
14,73	Сатурн	$T/2$
17,38	Сатурн-Нептун	$T/2$
18,61	Лунные узлы	T
19,87	Юпитер-Сатурн	T
21,0	Уран	$T/4$
22,57	Сатурн-Уран	$T/2$
29,46	Сатурн	T
34,76	Сатурн-Нептун	T
41,2	Нептун	$T/4$
42,0	Уран	$T/2$
42,91	Уран-Нептун	$T/4$
45,14	Сатурн-Уран	T
82,4	Нептун	$T/2$
84,0	Уран	T
85,83	Уран-Нептун	$T/2$
164,8	Нептун	T
171,65	Нептун-Уран	T

Таблица 2. Результаты анализа спектральной плотности динамики баланса массы ледников

Названия ледников	Периоды гармоник
<i>Engabreen (Norway)</i>	2,0; 2,75; 7,33
<i>Grasubreen (Norway)</i>	2,16; 3,25
<i>Hellstrugubreen (Norway)</i>	2,0; 3,71; 8,67
<i>Storbreen (Norway)</i>	2,4; 3,0; 8,0
<i>Place (Canada)</i>	2,0; 3,71; 8,66
<i>Limmern (Switzerland)</i>	2,92; 6,33; 12,67
<i>Plattalva (Switzerland)</i>	2,92; 6,33; 12,67
<i>Silvretta (Switzerland)</i>	2,28; 3,2; 4,0; 8,0
<i>Sonnblick (Austria)</i>	2,15; 3,11; 4,67; 14,0
<i>Джанкуат (Россия)</i>	2,0; 2,75; 11,0
<i>Gries (Switzerland)</i>	3,0
<i>Hintereis (Austria)</i>	2,86
<i>Kesselwand (Austria)</i>	3,33
<i>Nigardsbreen (Norway)</i>	2,0
<i>Tuyuksu (Kazakhstan)</i>	2,0; 3,25; 5,25
<i>Grosser Aletsch (Switzerland)</i>	3,1; 2,83; 2,43

и квадратуре (разности гелиоцентрических долгот 180 и 90°, соответственно). Составленные по данным Астрономических ежегодников, Астрономических календарей, издания *The American ephemeris for the 20th. century* и другим источникам [Рябов, 1962; Струве и др., 1964; Маров, 1981] значения параметров T , $T/2$, $T/4$ планетарной ритмики для рассматриваемого диапазона представлены в табл. 1.

В результате спектрального анализа динамики b_n ледников были получены гармоники (табл.2), около половины из которых (46 %) связаны с диапазоном периода колебаний от 2 до 3 лет (рис. 1). Неудивительно, что признаки именно двухлетней цикличности были выявлены при первом опыте выделения доминирующих гармоник по длинным сериям балансовых показателей ледника Джанкуат [Поповнин, 1993] — в первую очередь тех, которые обусловлены летним режимом, т.е. абляции и объема жидкого стока. О существовании двухлетнего ритма в природе сообщалось неоднократно [например, *Landsberg, 1959; Anderson, 1961*], а наиболее ярко он представлен и изучен в озерных отложениях Аргентины [Kessler, 1986]. Обычно его трактуют как квазидвухлетний цикл смены направлений стратосферных течений. Выявление более дробных, не кратных году, частот показывает, что в структуре энергонесущего диапазона с периодом колебаний 2—3 года выделяется 16 гармоник. При этом 6 гармоник имеют период 2,0 года и, вероятно, могут считаться аналогами планетарной гармоники с периодом 2,03 года, соответствующей периоду соединений Марса и Сатурна. Две гармоники имеют период равный 2,15 и 2,16 года, что позволяет считать их аналогами синодического периода обращения Марса. Интересно, что в работах В. Боме [Bohme, 1967], в которых он рассматривает 26-месячную

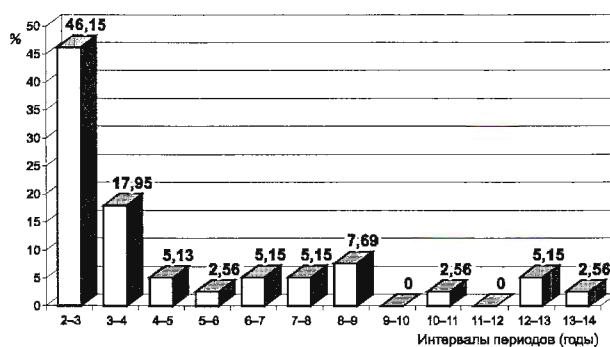


Рис. 1. Периодические характеристики динамики баланса массы горных ледников.

периодичность меридиональной циркуляции над Европой, приводится средняя продолжительность циклов между максимумами циркуляции, равная 2,15 года, что также соответствует периодичности, установленной и для тропических широт [Дзердзеевский, 1975]. Одна гармоника в структуре рассматриваемого диапазона имеет период 2,28 лет, что точно соответствует периоду последовательных соединений Марса и Юпитера. Пять гармоник, характеризующиеся значениями периодов в пределах от 2,86 до 3,0 лет, являются вероятными аналогами планетарной гармоники с периодом 2,97 лет и связанной с 1/4 полного оборота Юпитера вокруг Солнца. Рассмотренная структура спектров и отмеченные аналоги позволяют, во-первых, предположить участие в динамике массообмена ледников гравитационного фактора, связанного с периодическим движением планет Солнечной системы, а во-вторых, промоделировать динамику b_n современных ледников на основе планетарных гармоник.

В целях расширения геохронологических рамок и поиска гармоник более длинного периода, чем это в состоянии позволить сравнительно короткие (в природном масштабе) ряды прямых натуральных измерений на ледниках, детально исследовалась известная палеогляциологическая реконструкция [Дюргеров, Поповнин, 1980] по репрезентативному леднику Джанкуат. Его репрезентативность по отношению к оледенению северного склона Центрального Кавказа выражается как в морфометрической типичности, так и в согласованности межгодового хода баланса массы с большинством других ледников региона [Поповнин, 1989].

С масс-балансовых позиций ледник Джанкуат является в настоящее время наиболее изученным ледником на территории России. Тенденции, выявленные для него, могут отражать специфику развития бюджетного состояния кавказских ледников вообще, т.е. всей гляциальной системы в целом. При исследовании полученных

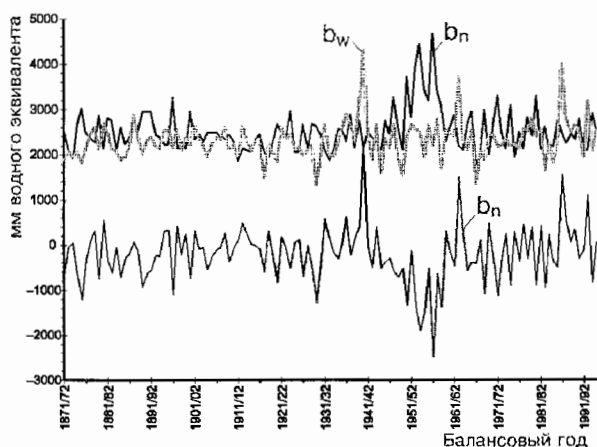


Рис. 2. Палеогляциологическая реконструкция рядов аккумуляции (b_w), абляции (b_s) и баланса массы (b_n) репрезентативного ледника Джанкуат.

в результате реконструкции (рис. 2) рядов бюджетных характеристик ледника (аккумуляции b_w , абляции b_s , баланса массы b_n) применялся спектральный анализ (по методике Ваттса-Дженкинса) и гармонический анализ. В результате в исходных рядах (их длина составляла 124 года) были выделены два диапазона энергонесящих частот — это высокочастотные колебания с периодами порядка 2—3 года и низкочастотные колебания с периодами в интервале 10—20 лет. Так, для ряда b_w статистически значимыми оказались флуктуации с периодами 2,95, 7 и 12 лет. Колебания с периодом 2,95 лет имеют амплитуду 220 мм водного эквивалента, 7-летние и 12-летние — 140 мм в/э. Ряд b_s характеризуется наличием 3-летней гармоника. Сдвиг фаз низкочастотных колебаний между рядами b_s и b_n с 95 % вероятностью равен 0. Расчет когерентности между b_s и b_w показал, что в рассматриваемом диапазоне частот ряды между собой не связаны. Но обращает на себя внимание связь рядов b_w и b_s с b_n на периодах около 3 лет. Важно отметить, что 3-летние колебания b_w и b_n находятся в фазе, а b_s и b_n — в противофазе (сдвиг фаз 180°). В низкочастотном диапазоне долгопериодические колебания рядов b_s и b_n связаны, а между b_w и b_n когерентность равна 0. Планетарными аналогами указанных статистически значимых [Дженкинс, Ваттс, 1971, 1972] гармоник можно предположить:

- гармонику, связанную с четвертью периода обращения Юпитера вокруг Солнца (2,97 года);
- гармонику, связанную с периодом (6,91 года) между соединением и противостоянием

Юпитера и Урана (или, что то же самое, полу-период их последовательных соединений);

— гармонику, связанную с периодом обращения Юпитера вокруг Солнца (11,86 года).

Таким образом, динамика баланса массы и его составляющих будет моделироваться в основном отмеченными планетарными гармониками. При этом наиболее явно выражена гармоника с периодом около 3 лет, которая проявляется во всех анализируемых рядах и в этом диапазоне отмечается определенная связь рядов. Значимость этой гармоника, планетарным аналогом которой является четверть периода обращения Юпитера, ранее отмечена нами для временных рядов, характеризующих циркуляционные процессы в атмосфере северного полушария [Федоров, 1997]. Так, в обобщении результатов сравнительного анализа по датам наступления сезонных типов циркуляции атмосферы в многолетнем ряду следует отметить, что планетарная гармоника, связанная с четвертью периода обращения Юпитера вокруг Солнца (2,97 года) имеет аналоги в двух (из четырех) рассматриваемых процессах (весенние и осенние „старты“). Кроме этого, в спектрах осенних „стартов“ и солнечной активности статистически значимыми являются гармоники соответствующие полному периоду обращения Юпитера (11,86 года). Эти же гармоники проявляются и в динамике гляциальных процессов.

В целом результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что в определенных диапазонах колебательных гляциальных процессов (в циклической динамике баланса массы современных горных ледников) проявляются аналоги, связанные с флуктуациями в орбитальном движении планет и изменении планетных конфигураций. Отмеченные аналоги могут быть связаны с гравитационным взаимодействием планет и существующими в космосе и природе Земли соразмерностями. Их можно использовать в моделировании (при реконструкциях и прогнозе) отдельных фрагментов хронологии гляциальных процессов. Трактую гляциологию в широком смысле термина как науку о всех видах природного льда и снега, можно предположить, что описанный механизм должен находить свое отражение не только в динамике чисто ледниковых процессов, но и в многолетних колебаниях снежности, ледовитости водоемов, лавинной и селевой опасности и т.д. С дальнейшим изучением отмеченных аналогий может быть связана перспектива детального определения структуры временных изменений в гляциосфере Земли.

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 97-05-65092).

Литература

- Берри Б.Л. Синхронные процессы в оболочках Земли и их космические причины // Вестник МГУ, серия 5, география, № 1, 1991, стр. 20—27.
- Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. М., Изд-во Мир, вып.1, 1974, 406 с.
- Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. М., Изд-во Мир, вып.1,2, 1971, 1972. 406 с., 212 с.
- Дзердзеевский Б.Л. Общая циркуляция атмосферы и климат. М., Наука, 1975, 286 с.
- Дюргеров М.Б., Поповнин В.В. Реконструкция баланса массы, пространственного положения и жидкого стока ледника Джанкуат со второй половины XIX в. // Мат-лы гляциологических исследований, вып.40, 1980, с. 73—82.
- Кендалл М.Дж., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М., Наука, 1976, 736 с.
- Маров М.Я. Планеты солнечной системы. М., Изд-во Наука, 1981, 256 с.
- Отнес Р., Энноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. М., Наука, 1982, 428 с.
- Поповнин В.В. Бюджетная эволюция репрезентативного ледника Джанкуат (Центральный Кавказ). Диссертация на соискание ученой степени канд. геогр. наук. М., 1989, 309 с.
- Поповнин В.В. Признаки цикличности в длинных рядах балансовых характеристик горного ледника // Мат-лы гляциологических исследований, вып. 76, 1993, с. 125—129.
- Романчук Б.П. Резонансные явления конвективных движений под действием приливных сил планет // Вестник Киевского ун-та, сер. астрон., № 22, 1980, с. 34—39.
- Рябов Ю.А. Движение небесных тел. М., Изд-во физ.-мат. лит-ры, 1962, 215 с.
- Струве О., Линдс Б., Пиллапс Э. Элементарная астрономия. М., Наука, 1964, 468 с.
- Тупинский Г.К. Космос и ритмы природы Земли. Изд-во Просвещение, М., 1966, 120 с.
- Федоров В.М. Гравитационный аспект циклических изменений солнечной активности и природных оболочек Земли // Изв. РАН, сер. географ. № 6, 1997, с. 42—51.
- Чижевский А.Л. Космический пульс жизни. М., Мысль, 1995, 768 с.
- Шнитников А.В. Приливообразующая сила как фактор изменчивости горного оледенения // Современные вопросы гляциологии и палеогляциологии, вып. XVII. М.-Л., Изд-во Наука, 1964, с. 102—140.
- Шнитников А.В. Внутренняя изменчивость компонентов общей увлажненности (очерки). Л., Изд-во Наука, 1969, 245 с.
- Anderson R.Y. Solar-terrestrial climatic pattern in varied sediments // Annals New York Acad. Sci., vol. 95, No 1, 1961, p. 424—439
- Bohme W. Eine 26-monatliche Schwankung der Häufigkeit meridionaler Zirkulationsformen über Europa // Z.Meteor., No 3-4, 1967, p. 19—24.
- Kessler A. Untersuchungen über Klimapendelungen auf dem südamerikanischen altiplateau // Götting. Geodr. Abh., Bd.81, 1986, p.184.
- Landsberg H.E., Mitchel J.V.Jr., Crutcher H.I. Power spectrum analysis of climatological data for Woodstock College, Maryland // Monthly Weather Rev., vol. 87, 1959, p. 283—298.

Поступила в редакцию
11 ноября 1997 г.