

Р.П.БЕРНГАРДТ, В.В.ИВАНОВ

О связи метеоявлений с солнечными затмениями

Авторы предлагают уменьшение нормированного потока солнечной энергии при затмении Солнца учитывать коэффициентом b , равным отношению площади излучения к площади всего диска. Дана оценка понижения температуры воздуха и почвы в Сахалинской области при затмении 31 июля 1980 г. Показано, что на реперной станции «Александровск» Сахалинской области наблюдаются уменьшение среднемесячной температуры воздуха и увеличение осадков, синхронное с затмениями Солнца.

Variations of air temperature and precipitation due to eclipse in Sakhalin region. R.P.BERNGARD (Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk), V.V.IVANOV (Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk).

Air temperature and precipitation in Sakhalin region during eclipse on July 31, 1980 were analyzed. At point Alexandrovsk air temperature decreased and precipitation increased simultaneously with the eclipse. Monthly temperature at Alexandrovsk decreased every time, when eclipse occurred in any place of the northern hemisphere. It is proposed that the effect of eclipse propagates along the surface of Earth and can be observed at different points, not only in the lunar shadow region. It was discovered that eclipse generated tropical cyclones in 1999 and 2000. The cyclones propagated along the coast of the continent and passed through Sakhalin Island. The cyclone tracks were similar to that of the other cyclones in the South Pacific region.

Потери тепловой энергии при экранировании Луной видимого солнечного диска оказывают заметное влияние на все физические явления и процессы, происходящие в атмосфере и деятельном слое подстилающей поверхности Земли. Цель данной статьи – оценить вариации температуры и осадков, обусловленные затмениями Солнца, по данным наблюдений метеорологических станций Сахалинской области.

Нормированное количество солнечной радиации, поступающей на земную поверхность, перпендикулярную солнечным лучам, при среднем расстоянии Земли от Солнца в отсутствие атмосферы, называют солнечной постоянной $A_0 \approx 2 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$. С момента первого касания и по мере закрытия Луной солнечного диска происходит ослабление нормированного потока солнечной энергии. В области лунной полутени он принимает меньшие, нежели солнечная постоянная, значения, а в области лунной тени равен нулю. Ослабленный нормированный поток солнечной энергии на затмении A рассчитаем, умножая коэффициент ослабления солнечной энергии b на величину солнечной постоянной A_0 :

$$A = b \cdot A_0. \quad (1)$$

Чтобы определить физический смысл коэффициента ослабления солнечной радиации b , воспользуемся законами фотометрии. Выразим полный поток солнечной радиации P формулой

БЕРНГАРДТ Роберт Павлович – доктор географических наук (Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск), ИВАНОВ Владимир Васильевич – доктор физико-математических наук (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск).

Работа поддержана грантом администрации Сахалинской области.

$$P = A_0 \cdot S, \quad (2)$$

где A_0 – солнечная постоянная, S – площадь солнечного диска.

Когда часть солнечного диска экранирована Луной, поток солнечной радиации с открытой части солнечного диска будет равен

$$P^I = A_0 \cdot S^I, \quad (3)$$

где P^I – величина потока солнечной радиации с открытой поверхности солнечного диска, а S^I – площадь открытой части солнечного диска.

Определим метеорологическое понятие – коэффициент ослабления солнечной радиации на затмении b – как отношение величины излучаемой солнечной радиации P^I к полному ее потоку P :

$$b = P^I/P = A_0 \cdot S^I / A_0 \cdot S = S^I / S. \quad (4)$$

Таким образом, коэффициент ослабления солнечной радиации при затмении равен отношению открытой площади солнечного диска к площади всего диска солнца.

В некоторых случаях может быть полезным понятие метеорологическая фаза затмения F_m – отношение экранированной Луной площади солнечного диска ко всей его площади (табл. 1). Метеорологическая фаза затмения связана с коэффициентом ослабления солнечной радиации соотношением

$$F_m = (S - S^I)/S = 1 - b. \quad (5)$$

Метеорологическая фаза затмения F_m численно совпадает с астрономической фазой F_a только в момент касания и в момент полного покрытия Луной солнечного диска (табл. 1). Во все другие моменты времени $F_m < F_a$.

Таблица 1

Связь физических характеристик затмения F_a , F_m и b

F_a	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
F_m	0,0	0,1	0,28	0,51	0,75	1,0
b	1,0	0,9	0,72	0,49	0,25	0,0

Составляющие радиационного баланса 31 июля 1981 г. представлены в табл. 2.

Таблица 2

Условия наблюдений и физические характеристики радиационного баланса (кВт/м²) при затмении 31 июля 1981 г. ГМС «Тымовское» (время истинное)

	12 ч 06 мин	12 ч 36 мин	13 ч 02 мин
Состояние диска Солнца	0 ²	0 ²	Полное затмение
Облачность: As, Ci, Cb (в баллах)	6/4	7/6	9/4
F_m затмения	0,02	0,3	1,0
b	0,98	0,7	0,0
Прямая радиация	0,73	0,58	0,00
Рассеянная радиация	0,12	0,14	0,00
Суммарная радиация	0,85	0,72	0,00
Радиационный баланс	0,58	0,48	-0,02

Данные табл. 2 и расчеты показали, что потери солнечной радиации днем 31 июля 1981 г. в результате затмения составили не менее 15% дневной нормы. Подсчитано, что доля радиации, наиболее ценной для вегетации растений, при затмении 31 июля 1981 г. была снижена не менее чем на 90%. В целом же за месяц потери лучистой энергии составили 0,6%, а вегетативно активной радиации – не менее 3%. Это означает, что в Сахалинской

области из-за потерь тепла при затмении 31 июля в сельскохозяйственном сезоне был потерян как минимум один продуктивный день. Действительно, по данным табл. 2 видно, что при полном затмении радиационный баланс деятельной поверхности земли был отрицателен. Как следствие, поверхность земли и атмосфера в это время интенсивно теряли тепловую энергию, т.е. охлаждались.

Величины понижения температуры воздуха и почвы зависели от местоположения метеостанций относительно полосы полного затмения и наблюдавшихся явлений.

Данные метеорологического радиолокатора МРЛ-2 Александровской ГМО показывают, что на западном побережье Сахалина как в полосе полного затмения, так и вне ее температура воздуха (при слоистой облачности) понизилась на 1,5–2,5°C. Наибольшее понижение температуры воздуха произошло в центральной части острова к северу и югу от полосы полного затмения. На метеорологических станциях, расположенных в межгорной долине (Адо-Тымово, Ныш и Ноглики, ГМС «Сиземан»), понижение было значительным – на 4,3–4,9°C. Столь существенные понижения температуры воздуха у земли связаны с турбулентностью, возникшей при интенсивном развитии кучевой облачности, с грозами и ливнями, а также значительным выхолаживанием подстилающей поверхности земли при абсолютном уменьшении солнечной радиации (это следует из данных актинометрических наблюдений на ГМС «Тымовское»).

Температура поверхности почвы была измерена на станциях в Александровске, Тымовске, Сиземане. Почвенный участок метеорологической площадки, расположенный горизонтально, был предварительно освобожден от растительности, вскопан и разрыхлен боронованием. Результаты измерений показывают, что температура поверхности почвы на оголенном участке во время затмения понизилась на 16–23°C, в среднем более чем на 19°C по сравнению с показателями перед затмением. Момент минимума температуры поверхности почвы практически совпал с моментом наибольшей фазы затмения.

В работе [1] дана теоретическая оценка влияния затмений на температуру поверхности Земли. Показано, что этот эффект может достигать единиц градусов Цельсия и вполне обнаруживается на спектрах вариаций температуры воздуха. В настоящей работе эффект выделяется и анализируется по материалам наблюдений реперной станции в Александровске. Используется специальная процедура вычисления спектров, выделяющая пики, обусловленные малыми периодическими эффектами, что позволяет прогнозировать их на много лет вперед. Изучение эффекта солнечных затмений дает полезную информацию для понимания природы трансформации энергии в атмосфере Земли.

Для выделения эффекта затмений из наблюдаемых вариаций среднемесячной температуры и осадков использовано то обстоятельство, что солнечные затмения – составной периодический процесс, определяемый периодами: синодическим месяцем $T_0 = 29,53$ сут, годом $T_1 = 365,25$ дня, регрессии узлов лунной орбиты $T_2 = 6585,32$ дня.

Спектр возмущений потока солнечной энергии при затмениях – это линейчатый спектр с пиками интенсивности на частотах

$$\omega_{ik} = 2\pi i / T_0 + 2\pi k / T_3 = 2\pi i \omega_0 + 2\pi k \omega_3. \quad (6)$$

Здесь i и k – целые положительные или отрицательные числа. $T_3 = T_1 \cdot T_2 / (T_1 + T_2) = 173,02$ сут. Спектр состоит из последовательности дуплетов, двух линий, разделенных интервалом $2\pi / \Delta$, $\Delta = 1228,87$ дня, или 3,364 года, – видимый период вариации интенсивности затмений. Сама частота $2\pi / \Delta$ также наблюдается как отдельная линия. Она соответствует значениям $k = 7$, $i = -1$. Интенсивность линий слабо зависит от номера i и заметно спадает с увеличением абсолютного значения числа k .

Линейчатый характер спектра затмений позволяет выделить этот эффект на фоне действия других источников – по спектральным линиям с достаточно высоким разрешением по частоте, оцененных по ряду наблюдений большой длительности. Последнее требуется

для того, чтобы надежно выделить пик на фоне спектра случайных вариаций, так как с ростом длительности амплитуда спектрального пика растет пропорционально квадрату длительности, в то время как амплитуда шумового фона растет пропорционально самой длительности. Поэтому при достаточно больших длительностях амплитуда пика когерентного сигнала превосходит амплитуду случайного фона (А.Е. Завалишин. Starcalc 5. Версия 5.7.1995 г. Воронеж). Это позволяет не только обнаружить сам эффект, но также выделить его и даже прогнозировать на несколько лет вперед на основе определения амплитуд a_{ik} и фазы φ_{ik} соответствующих гармоник. Влияние солнечных затмений на значение исследуемого метеорологического элемента $\delta(x)$ оценивается посредством формулы

$$\delta(x) = \sum a_{ik} \cos(\omega_{ik} t - \varphi_{ik}). \quad (7)$$

В этой формуле время t отсчитывается от начала момента наблюдений, в данном случае от 15 января 1881 г. Такой прогноз, по мнению [5], предложен Лапласом и используется при прогнозе лунных и солнечных приливов.

Проанализируем теперь спектры вариаций температуры и осадков, полученных на реперной климатологической станции «Александровск» ($50^{\circ}5'$ с.ш., $142^{\circ}1'$ в.д.), время наблюдений 1891–2000 гг.

По спектрам вычислены амплитуды a_{ik} и фазы φ_{ik} для частот ω_{ik} , определяемых формулой (7). Поскольку использовались среднемесячные значения, то в формуле (7) сохранены только пять членов, частоты ω_{ik} для которых не превосходят значений $2\pi/2$ мес. Эти члены соответствуют номерам: $i = -1, k = -7$; $i = 1, k = -5$; $i = 0, k = 1$; $i = 1, k = -4$; $i = 0, k = 2$, а частоты – периодам 3,36; 0,55; 0,47; 0,255; 0,237 лет. Отметим, что сигнал состоит из нескольких периодических процессов. Чтобы уменьшить ошибки оценивания параметров слабой линии, из сигнала последовательно вычитаются колебания, соответствующие спектральным максимумам большей амплитуды.

Для ускорения процесса выделения нужной нам линии сигнал был преобразован посредством сглаживания. Для оценки линий с периодом 3,36 года рассматривался сигнал месячных вариаций температуры, сглаженный по интервалу времени 2 года. При таком сглаживании подавляются линии на периодах меньше 2 лет и сохраняются параметры линий с периодами больше 2 лет. Сглаженный сигнал показан на рис. 1. Параметры колебаний, соответствующих выделенным линиям, показаны в табл. 3.

В табл. 3 содержится линия с периодом 3,36 лет, это линия 25 в спектре температуры и линия 7 в спектре осадков. Для оценки линий с короткими периодами (0,55, 0,47, 0,255 и 0,237 лет) использовался другой метод: рассматривался сигнал месячных вариаций температуры, остающихся после вычитания из исходного сигнала результата его сглаживания по периоду 1 год. При таком вычитании подавляются линии на периодах около 1 года и сохраняются параметры линий с периодами меньше 1 года. Параметры колебаний, соответствующих выделенным линиям, показаны в нижней части табл. 3. Здесь полужирным обозначены линии, соответствующие периодам, соответственно, 0,55; 0,475; 0,255 и 0,237 лет. Колебания температуры воздуха – строки 55, 83, 67, 92. Ошибка в оценке периода порядка одного процента, так что интерпретация линий не вызывает сомнения.

Графики вариации среднемесячной температуры и среднемесячных осадков, связанных с затмениями, построенные по формуле (7), сопоставляются с эффектом затенения Солнца (рис. 2).

Результаты построения показывают следующее.

1. Затмения приводят к уменьшению среднемесячной температуры и увеличению осадков синхронно с затенениями Солнца, независимо от того региона Земли, по которому прошла тень Луны.

2. Максимальные вариации температуры и осадков соответствуют неполным затмениям, когда тень Луны проходит по среднеширотным и полярным областям Северного полушария, что объясняется расположением точки Александровск (широта $50^{\circ}5'$ с.ш.).

3. Эффекты затмения не слишком велики, но достаточно существенны: вариации осадков на 1 см – серьезное погодное возмущение, которое можно предсказать и предусмотреть при планировании с помощью метода последовательных спектров.

С нашей точки зрения, наибольший интерес представляет первый вывод, который означает, что независимо от того места, по которому проходит тень Луны, в точке Александровск наблюдаются значительные вариации температуры и осадков. То есть эффект

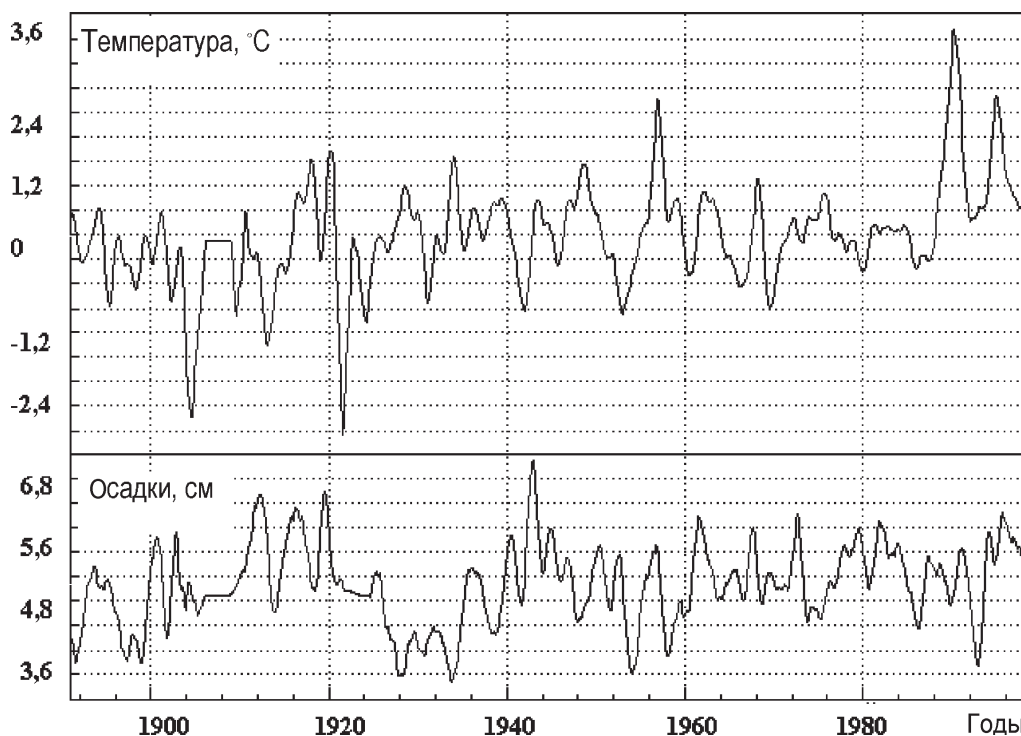


Рис. 1. Изменения температуры и количества осадков в г. Александровск. Сигналы сглажены по интервалу времени 2 года

Таблица 3

Параметры последовательных спектров сигналов

№	Амплитуда		Период		Фаза	
	Температура	Осадки	Температура	Осадки	Температура	Осадки
Последовательные спектры сглаженных сигналов						
7		-1,8297		3,2661		1,4716
25	-0,1215		3,3654		0,6340	
Последовательные спектры сигналов – с вычтенным сигналом, сглаженным по интервалу 1 год						
12		0,2599		3,45		-0,712
40		0,2333		-2,6		0,677
55	0,548		0,26		-1,179	
57		0,4761		-2,4		1,046
67	0,255		-0,23		-0,44	
83	0,480		0,215		-0,39	
90		0,554		-2,21		-0,5
92	0,236		-0,20		0,672	

Примечание. № – порядковый номер линий, использованных при дальнейшей реконструкции сигнала. Линии рассмотрены в порядке убывания амплитуды.

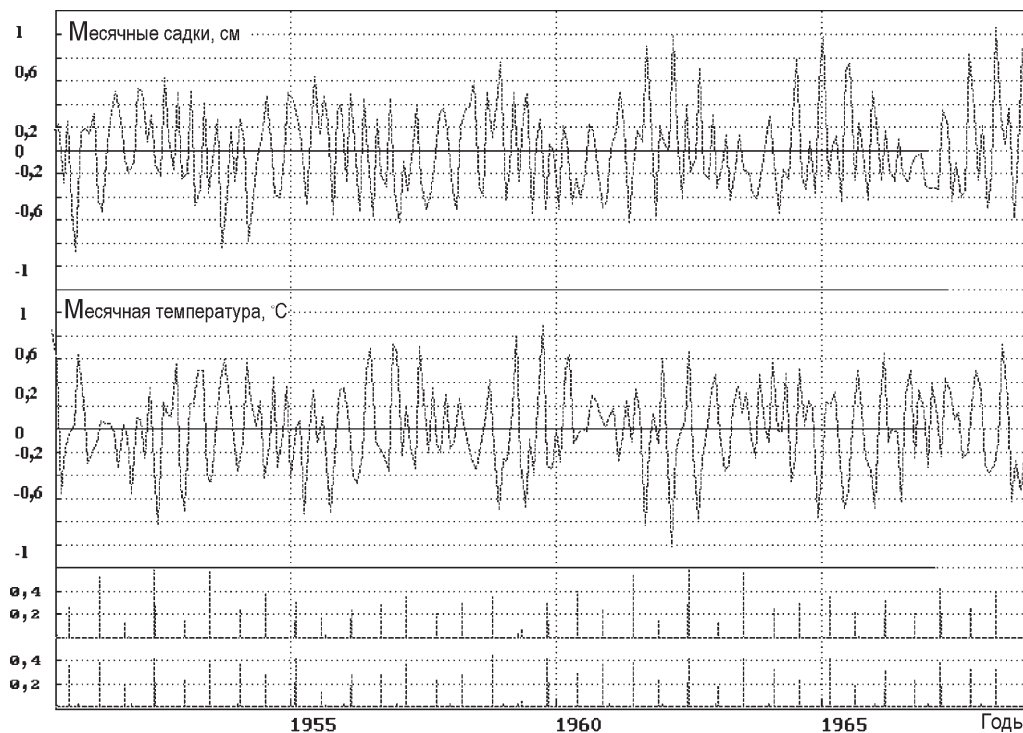


Рис. 2. Вариации среднемесячных осадков и среднемесячной температуры в г. Александровск-Сахалинский

воздействия затмения распространяется по поверхности Земли, причем при распространении даже на большие расстояния сила воздействия на температуру и осадки изменяется незначительно, а задержки распространения не превышают одного месяца. Мы предположили, что в результате действия затмения образуется подвижное атмосферное образование типа циклона, которое распространяется по поверхности Земли в соответствии с изученными закономерностями [2]. Точка Александровск ($50^{\circ}5' \text{ с.ш.}$, $142^{\circ}1' \text{ в.д.}$) расположена на пути следования тропических тайфунов в летнее и осеннее время, когда они в основном проходят вдоль восточного берега Азиатского материка. Последнее означает, что среди регистрируемых тайфунов в Тихом океане можно выделить те, источником возбуждения которых являются затмения. В нашем распоряжении есть материалы по наблюдениям тихоокеанских тропических тайфунов в 1999 и 2000 гг. [3, 4].

В 1999 г. наблюдалось два затмения – 16 февраля и 11 августа. Тайфун Sam может быть сопоставлен с затмением 11 августа. На рис. 3 показаны след тени Луны при затмении 11 августа и траектория тайфуна.

В 2000 г. наблюдалось 4 затмения: 5 февраля, 1 июля, 31 июля и 25 декабря.

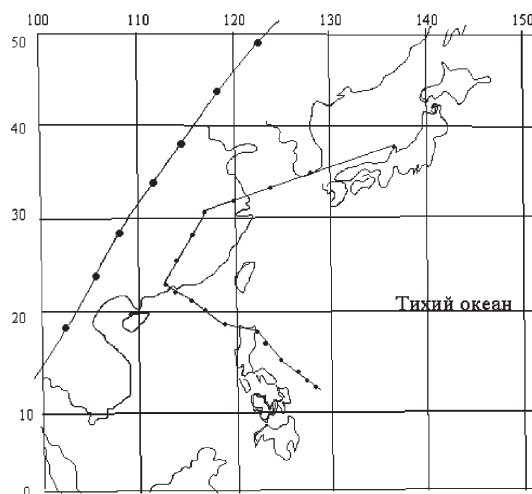


Рис. 3. Сопоставления следа тени Луны и траектории тайфуна Sam

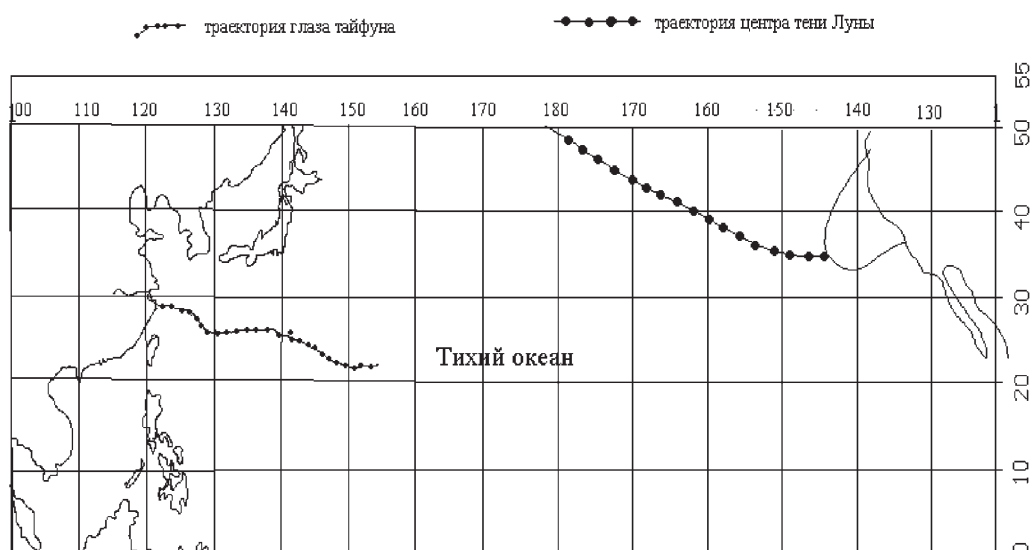


Рис. 4. Сопоставление траектории тени Луны со следом тайфуна Jelawat (глаз тайфуна – центр тайфуна, различаемый на фотографии со спутника)

По времени возникновения с ними могут быть сопоставлены тайфуны Kirogi (2–10 июля), Jelawat (31 июля–12 августа), Soulik (28 декабря–5 января). На рис. 4 сопоставляются след тайфуна и след тени Луны при затмении 31 июля.

Сопоставление времен возникновения тайфунов с затмениями свидетельствует о том, что затмение действительно в определенное время года может спровоцировать тайфун. Сопоставление следов тайфуна и тени затмения показывает, что это различные кривые и связь затмений и тайфунов далеко не тривиальна. Исследование этой связи представляет определенный интерес, так как открывает возможность экспериментального исследования физики происхождения тайфунов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.В. Периодические вариации погоды и климата // УФН. 2002. № 7. С. 776–811.
2. Тихий океан. Метеорологические условия над Тихим океаном. М.: Наука, 1966. 395 с.
3. ESCAP/WMO Typhoon Committee Annual Review 1999. Manila: Typhoon Committee Secretariat, 1999. 185 p.
4. ESCAP/WMO Typhoon Committee Annual Review 2000. Manila: Typhoon Committee Secretariat, 2000. 201 p.
5. Lamb H. Hydrodynamics. L.: Cambridge Univ. Press, 1932. 739 p.