

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

80 лет
ГИДРОМЕТЦЕНТРУ
РОССИИ

Москва
ТРИАДА ЛТД
2010

Геодинамика и гидрометеорологические прогнозы

Н.С. Сидоренков, К.А. Суменова

Гидрометцентр России

1. Прогнозы гидрометеорологических характеристик

Около ста лет назад Б.П. Мультановский [1] обратил внимание на то, что синоптические процессы эволюционируют не непрерывно, а скачкообразно. Анализируя сборно-кинематические карты, он заметил, что положение барических полей удерживается в течение нескольких дней, а затем быстро (за 12—36 ч) радикально трансформируется. Возникшая картина снова сохраняется несколько дней — до следующей перестройки. В пределах изучаемого им Первого естественного синоптического района (ЕСР), от Гренландии до реки Енисей и к северу от 30° с.ш., однотипный характер эволюции сохраняется в течение нескольких дней. В 1915 г. этот интервал времени Б.П. Мультановский назвал естественным синоптическим периодом (ЕСП). Другими словами, ЕСП есть длительность существования однотипного синоптического процесса в данном ЕСР.

В 40-х годах XX в. стали строить высотные карты барической топографии. Обнаружилось, что картина высотного термобарического поля в тропосфере сохраняется в течение ЕСП. Поле давления и температуры обуславливает перемещение барических образований у земной поверхности и сохранение географического расположения их центров в пределах ЕСР. По окончании периода термобарическое поле тропосферы быстро перестраивается, что вызывает новую локализацию центров барического поля и изменение траекторий барических образований у земной поверхности. Вид сборно-кинематической карты меняется от текущего ЕСП к следующему за один-два дня, т.е. «скачкообразно» по сравнению с длительностью ЕСП, которая варьирует от 5 до 8 дней [2]. Природа ЕСП до работ [3, 5] оставалась неизвестной.

В восьмидесятые годы XX века оптические наблюдения в астрометрии были заменены новыми методами космической геодезии. Точность определения Всемирного времени УТ увеличилась на два порядка. В итоге, появилась возможность изучать короткопериодные колебания угловой скорости вращения Земли ω с периодами до суток. С тех пор автор вел синхронный мониторинг приливных

колебаний скорости вращения Земли ω , эволюции синоптических процессов в атмосфере, режимов атмосферной циркуляции и вариаций гидрометеорологических характеристик во времени. В результате было замечено, что большая часть перестроек синоптических процессов происходит вблизи моментов смены режима вращения Земли (Сидоренков, 2000). Как известно, из-за эффекта земных зональных приливов в течение лунного месяца (27,3 сут.) наблюдается 4 режима вращения Земли неравной продолжительности — 2 периода ускорения длительностью m_1 и m_3 и 2 периода замедления длительностью m_2 и m_4 (рис.1). Смена режимов происходит в среднем через $m_i \approx 27.3/4 = 6.8$ сут., но из-за медленного движения перигея и узлов лунной орбиты этот период изменяется от 5 до 8 сут. Например, в 2006 г. с 29 сентября по 6 октября отмечалось замедление, с 6 по 12 октября — ускорение, с 12 по 19 октября — замедление и с 19 октября по 27 октября — ускорение, т. е. лунный месяц сложился из интервалов $7 + 6 + 7 + 8$ сут. (рис.1). Возможны любые комбинации и любые вещественные значения m в диапазоне от 5 до 8 суток. Неизменным здесь остается лишь месячный период 27,3 суток.

На ретроспективных данных автор проверил, как часто экстремумы угловой скорости ω совпадают с моментами перестроек синоптических процессов. В качестве характеристик типов синоптических процессов брались каталоги элементарных синоптических процессов (ЭСП) Г.Я. Вангенгейма (1964). Были подготовлены и проанализированы каталоги перестроек ЭСП и экстремумов (максимумов

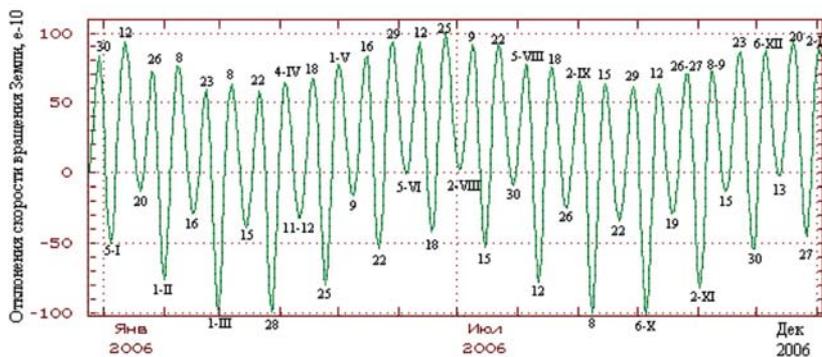


Рис. 1. Приливные колебания скорости вращения Земли в 2006 г. По оси ординат отложены относительные отклонения угловой скорости ν в 10^{-10} .

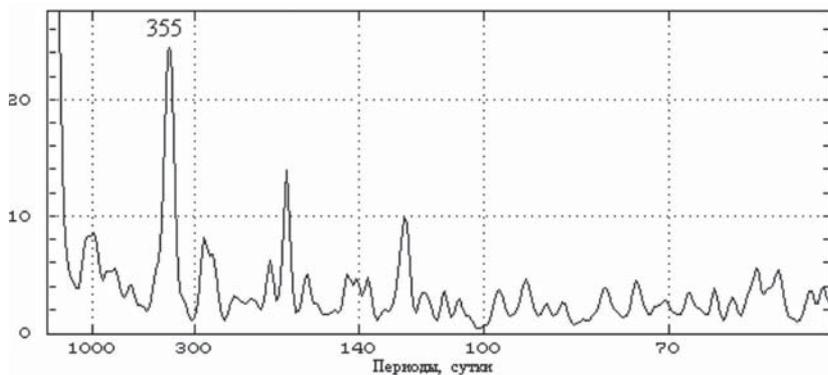


Рис. 2. Спектр среднесуточных значений экваториального компонента h_2 момента импульса атмосферы.

и минимумов) приливных колебаний угловой скорости ω за 8 лет (с 1 октября 1987 г. по 30 сентября 1995 г. — 2922 дня). Статистический анализ показал, что в 76% случаев моменты экстремумов угловой скорости ω совпадают в пределах ± 1 дня с датами перестроек ЭСП. В 34% случаев моменты экстремумов ω отличались на два и более дня от ближайших дат перестроек ЭСП (Сидоренков, 2000).

Таким образом, между приливными колебаниями скорости вращения Земли ω и изменениями синоптических процессов в атмосфере было установлено статистически значимое синхронное соответствие. Выяснилось, что естественные синоптические периоды совпадают с режимами вращения Земли.

Каждому квазинедельному режиму вращения Земли соответствует некоторый естественный синоптический период (ЕСП). Но режимы вращения Земли обусловлены лунно-солнечными приливами, значит, и ЕСП вызываются, возможно, ими же. Нужна была независимая проверка этого предположения на независимых материалах наблюдений.

Для проверки этого вывода были вычислены спектры экваториальных компонент момента импульса атмосферы, которые четко показали полное преобладание гармоник лунно-солнечных приливов [3]. Более того, когда мы вычислили спектр среднесуточных значений экваториального компонента h_2 , оказалось, что основной максимум спектральной плотности отмечается не на периоде T_1 солнечного года 365 сут., а на периоде $T_1 = 355$ сут. (рис. 2).

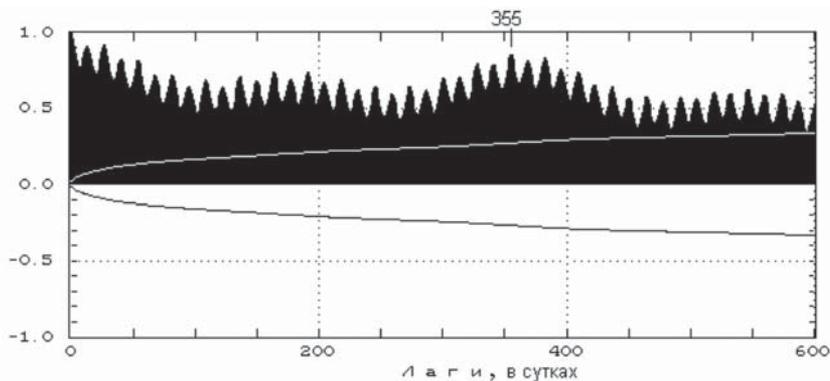


Рис. 3. Автокорреляционная функция временного ряда приливных колебаний скорости вращения Земли с 1962 по 2003 гг. при сдвиге от 0 до 600 суток.

Компонент h_2 характеризует вращение атмосферы относительно оси Ox_2 , лежащей в экваториальной плоскости и направленной из центра Земли на точку с координатами $\varphi = 0^\circ$, $\lambda = 90^\circ E$. Т.е. скорость вращения атмосферы относительно оси Ox_2 изменяется с периодом $T_2 = 355$ сут. В спектрах индекса квазидвухлётней цикличности ветра в экваториальной стратосфере (QVO), некоторых коэффициентов сферических гармоник глобального поля атмосферного давления, аномалий некоторых гидрометеорологических характеристик также был обнаружен период T_2 , а не T_1 . Что же это за период T_2 ?

Астрономы и народы Востока знают, что это лунный год. В течение этого периода Луна 13 раз обращается вокруг барицентра системы «Земля + Луна»; фазы Луны при этом повторяются 12 раз. Пользуясь астрономическими терминами, можно сказать, что за 355 сут. протекает ровно 13 сидерических (27,32 сут.) и 12 синодических (29,53 сут.) лунных месяцев.

Лунный год является единицей меры времени лунных календарей, сохранившихся в некоторых странах Востока. Его длительность наиболее близка к продолжительности тропического года ($T_1 = 365,2422$ сут.), лежащего в основе солнечного календаря.

Период T_2 — это период наибольшей автокорреляции временного ряда приливных колебаний скорости вращения Земли $\dot{\omega}$. Сдвинем кривую $\dot{\omega}$ предыдущего года на 10 дней назад, и мы получим почти полное совпадение всех деталей приливных колебаний $\dot{\omega}$ текущего года (рис. 3).

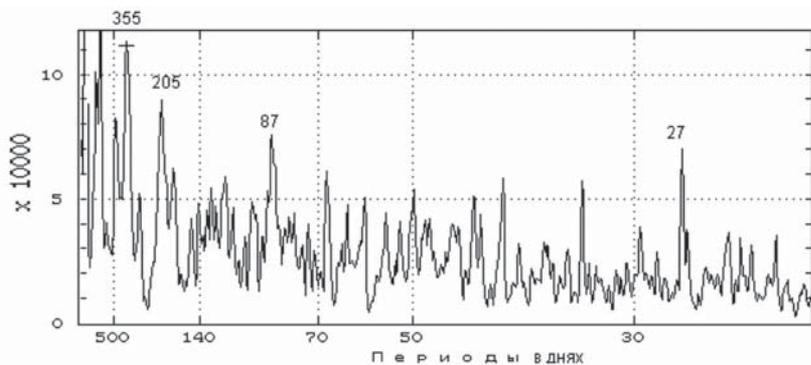


Рис. 4. Периодограмма аномалий температуры воздуха в г. Москве.

Солнечные приливы дают максимальную корреляцию при сдвиге 365 суток, а лунные через каждый сидерический месяц. Поэтому максимум максимум автокорреляционной функции отмечается при сдвиге 355 дней (13 сидерических месяцев). Большой максимум автокорреляционной функции имеется также при сдвиге 382 дней (14 месяцев).

Найдены тесные связи между лунно-солнечными приливами и вариациями метеорологических характеристик. Для иллюстрации приведем, например, график периодограммы суточных аномалий температуры воздуха в г. Москва по данным за 1960—2003 гг. (рис. 4).

На нем видны пики вблизи периодов 27, 87, 205, 355 дней, соответствующих лунным сидерическим (27,3 сут.) и синодическим (29,5 сут.) периодам. Цикл 206 суток возникает из-за вращения большой оси лунной орбиты относительно большой оси земной орбиты. Перигей лунной орбиты совершает один оборот за 8,85 года, а перигелий земной орбиты — за 1 год. Перигей встречается с перигелием через каждые 412 суток. Но оси лунной и земной орбит становятся коллинеарными через каждые 206 суток. Описанная цикличность взаимных конфигураций двух орбит и воздействует на лунные и земные процессы. Например, продолжительность лунного аномалистического месяца изменяется с этим периодом от 28,5 до 24,8 суток. Земля в своем движении вокруг барицентра зеркально отражает все движения Луны. Поэтому она имеет такие же вариации с периодом 206 суток.

Итак, аномалии температуры воздуха формируются не только внутренней стохастической динамикой атмосферы, но и лунно-

солнечными приливами, которые до некоторой степени повторяются с периодом лунного года $T_2 = 355$ суток (рис. 4). Помимо лунного года имеются еще более длительные циклы: сарос (223 синодических месяцев), Метонов цикл (235 месяцев), инекс (358 месяцев), которые тоже влияют на аномалии температуры.

Приливы влияют на меридиональную циркуляцию воздуха и вариации атмосферного давления. Повышенное давление, вызываемое лунным приливом, приводит летом к положительным аномалиям температуры, а зимой — к отрицательным. Т.е. аномалии температуры в месячном цикле зависят от сезона года. При анализе и прогнозе температуры необходимо учитывать эту зависимость.

Возникает вопрос: можно ли учесть влияние Луны на аномалии температуры воздуха путем вычисления средних многолетних норм, аналогичных солнечным годовым нормам для температуры? К сожалению, сделать это практически невозможно. Дело в том, что геоцентрическое расстояние и склонение Луны изменяются не только с месячным, но и соответственно с периодами 8,847 г. и 18,613 г. Поэтому нормы должны вычисляться за период кратный трем периодам $[18,613, 8,847, 1] \approx [186/10, 186/21, 186/186]$, т.е. наименьший период для лунных норм должен быть не год, а хотя бы 186 лет. Но еще необходимо хотя бы десятикратное осреднение для статистической надежности. Т.е. надо иметь 1860-летние ряды наблюдений с суточной дискретностью. Ясно, что вычислить лунные нормы нам не удастся. Поэтому единственный путь учета приливных эффектов Луны в прогнозах аномалий температуры и других гидрометеорологических характеристик есть метод подбора аналогов по колебаниям приливных сил или приливных колебаний угловой скорости ω .

Был разработан следующий способ прогноза гидрометеорологических характеристик [5]. Колебания скорости вращения Земли ω уверенно вычисляются с любой дискретностью и заблаговременностью на основании теории [3]. По предвычисленным на прогнозируемый период (ближайший год) значениям скорости вращения Земли ω с помощью корреляционного анализа определяется аналогичный период в прошлом с таким же примерно режимом вращения Земли. Предполагается, что расписание синоптических процессов и ход аномалий гидрометеорологических характеристик в прогнозируемом отрезке времени будет соответствовать периоду аналогу. Аномалии гидрометеорологических характеристик, наблюдавшиеся в его границах, принимаются за

ожидаемые. Затем к ним прибавляются соответствующие нормы, и таким образом вычисляется прогноз гидрометеорологических характеристик. Один аналог не может отразить весь спектр изменчивости рассматриваемой характеристики. Много аналогов приведут к нулевым аномалиям. Поэтому необходимы дальнейшие исследования по оптимизации выбора аналогов.

Наша методика позволяет предвычислять гидрометеорологические характеристики с суточным разрешением на срок до одного года по любому пункту, где только имеются достаточно продолжительные ряды наблюдений. На практике она используется нами для прогноза температуры воздуха с 1999 г.

Оправдываемость прогнозов среднемесячных аномалий температуры в Москве за 2000—2007 гг. составила $\approx 70\%$. Ошибки прогноза возникают, главным образом, из-за сдвигов фазы колебаний на несколько дней. Поэтому наши долгосрочные прогнозы температуры с суточной дискретностью не могут удовлетворить потребителя, интересующегося точным временем наступления изменений температуры, но устроят потребителя, которого интересует не столько время, сколько сам факт наступления таких изменений. Наилучшая оправдываемость прогнозов отмечается в Поволжье, Центральной России и на Северном Кавказе. Заметно хуже результаты по данным высокоширотных и морских станций. В целом, прогнозы, по видимому, можно считать удачными только по первому ЕСП

2. Долгопериодная изменчивость приливных колебаний и гидрометеорологических процессов

Лунная приливная сила колеблется во времени с периодом 13,65 суток. Она есть функция склонения и геоцентрического расстояния Луны, которые изменяются во времени сложным образом. Амплитуда месячных колебаний склонения Луны изменяется с периодом 18,61 г. от 29° до 18° , из-за регрессии узлов лунной орбиты. Перигей лунной орбиты движется с периодом 8,85 г., что вызывает вариацию квазинедельного периода колебаний приливных сил в пределах от 5 до 8 дней. В итоге, амплитуда колебаний приливных сил изменяется во времени с периодами: 18,61 г., 8,85 г., 6,0 г., 1 г., 0,5 г., месячным, полумесячным, недельным, суточным, полусуточным и многими другими менее значимыми периодами. Изменчивость приливных сил ярче всего заметна в колебаниях вращения Земли. На рис. 5 для сравнения приведены кривые вычисленных приливных колебаний угло-

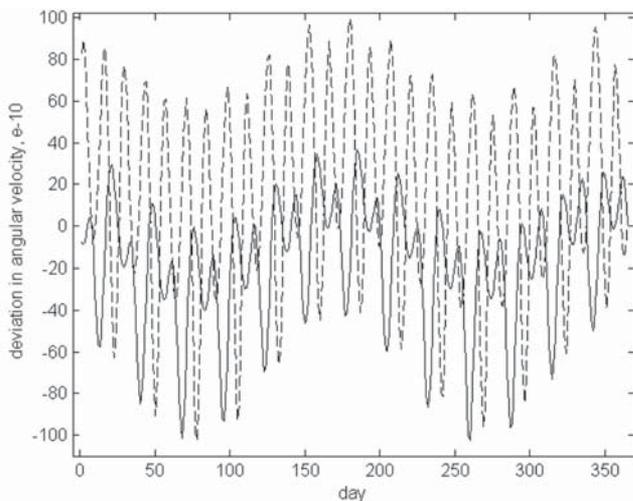


Рис. 5. Приливные колебания угловой скорости вращения Земли в 1997 г. (сплошная) и 2007 г. (пунктирная кривая). По оси ординат отложены относительные отклонения угловой скорости ν в 10^{-10} .

вой скорости вращения Земли для периодов минимальной (1997 г.) и максимальной (2007 г.) изменчивости приливных сил. Здесь можно увидеть, что амплитуда приливных колебаний угловой скорости в 2007 г. почти в 2 раза больше чем в 1997 г.

В работах [4, 6] вычислена дисперсионная функция $D(t)$ приливных колебаний скорости вращения Земли в скользящем годовом окне с 1900 г. по 2012 г. (рис. 6). Видно, что дисперсия D изменяется в 3 раза: от минимальной в 1903, 1923, 1942, 1960, 1978, 1997 гг., до максимальной в 1914, 1932, 1950, 1969, 1988, 2007 гг.. Минимальной дисперсия D бывает при совпадении нисходящего узла лунной орбиты с точкой весеннего равноденствия, а максимальной — при совпадении восходящего узла лунной орбиты с точкой весеннего равноденствия.

Из-за изменчивости приливных сил амплитуда колебаний элементов погоды, метеорологических и морских гидрологических характеристик тоже изменяется во времени с теми же периодами. Но чем больше размах колебаний гидрометеорологических характеристик, тем чаще возникают экстремальные ситуации (аномальные жара или холода, засухи или наводнения, ураганные ветры, сильные

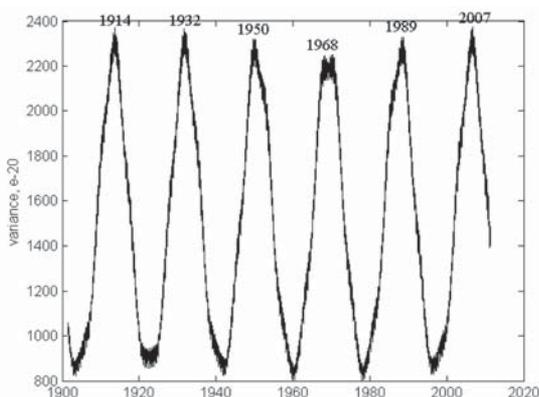


Рис. 6. Дисперсия приливных колебаний скорости вращения Земли в скользящем годовом окне за период 1900—2010 гг.

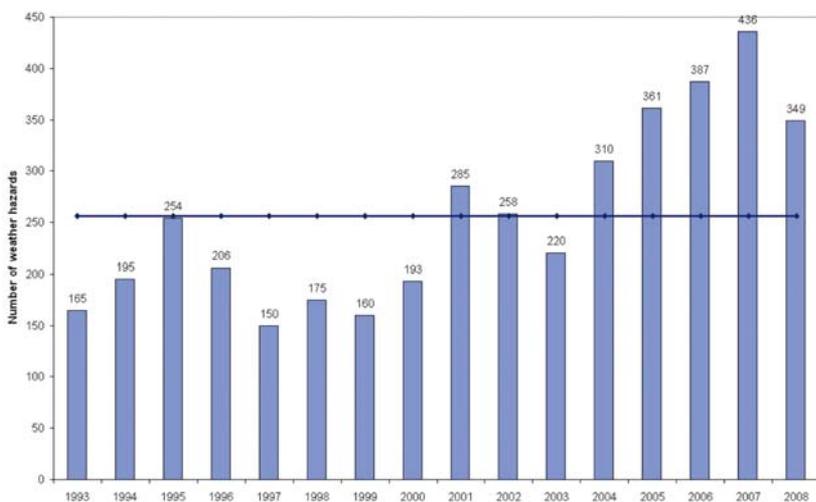


Рис. 7. Изменение годового числа опасных погодных явлений за последние 16 лет по данным Росгидромета. Черная прямая проведена на уровне среднегодового значения за 16 лет.

грозы, град), тем больший ущерб хозяйству наносят опасные гидрометеорологические явления. Другими словами, частота появления **экстремальных гидрометеорологических процессов** изменяется в соответствии с разнообразными колебаниями приливных сил. Тех-

ногенные и социальные процессы тоже испытывают воздействие изменяющихся приливных сил.

В работах [4, 6] показано, что максимумы дисперсии экваториальных компонентов h_1 и h_2 момента импульса атмосферы тяготеют к максимумам изменчивости приливных сил в 1951, 1969, 1987, 2007 гг. Лишь в 80-е годы максимум h_1 несколько опережает максимум приливных сил. Таким образом, многолетняя изменчивость момента импульса атмосферы в определенной степени обусловлена 18,6-летними вариациями приливных сил.

Статистика опасных гидрометеорологических явлений, проводимая в Гидрометцентре России и в Росгидромете, отчетливо отмечает повышение их в 1998—2007 гг. (рис. 7).

При увеличении (уменьшении) амплитуд приливов возрастает (уменьшается) экстремальность гидрометеорологических процессов. В 2007 г. наблюдался максимум 18,6-летнего цикла изменчивости приливных сил. Поэтому **нараставшая в последние годы частота экстремальных гидрометеорологических процессов обусловлена не только глобальным потеплением климата, но и наблюдавшимся в 2007 г. максимумом изменчивости приливных сил.** В 2008—2016 гг. изменчивость приливных сил будет уменьшаться. Поэтому в этот период времени можно ожидать уменьшения экстремальности гидрометеорологических процессов из-за воздействия приливных сил.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мультиановский Б.П. Основные положения синоптического метода долгосрочных прогнозов погоды // М.: изд. ЦУЕГМС, 1933. 139 с.
2. Пагава С.Т., Аристов Н.А., Блюмина Л.И., Туркетти З.Л. Основы синоптического метода сезонных прогнозов погоды // Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 362 с.
3. Сидоренков Н.С. Атмосферные процессы и вращение Земли // СПб.: Гидрометеоиздат, 2002. 366 с.
4. Сидоренков Н.С. Лунно-солнечные приливы и атмосферные процессы // Природа, № 2, 2008, С. 23—31.
5. Сидоренков Н.С., Сидоренков П.Н. «Способ прогноза гидрометеорологических характеристик», патент на изобретение № 2182344 от 10 мая 2002 г.
6. Sidorenkov N.S. The interaction between Earth's rotation and geophysical processes. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2009. 317 p.