

УДК 612.014.426

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ДАННЫХ В КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ МЕТЕО- И МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

© 2010 г. Т. А. Зенченко

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН,
г. Пущино Московской области

В ранее проведенных исследованиях сообщалось о реакции на действие магнитных бурь со стороны различных систем организма человека: сердечно-сосудистой, эндокринной, нервной (центральной и вегетативной), системы крови [1, 3, 5, 6, 8, 11, 18–20, 22–25].

В работах [3–5, 6, 8] показано, что действие магнитных бурь на организм носит характер неспецифической реакции по типу адапционного стресса и специфической реакции изменения сосудистого тонуса. Таким образом, реакция организма может проявляться, в частности, изменением показателей артериального кровяного давления (АД). Это предположение было многократно подтверждено [3, 8, 15, 23, 29, 30].

В то же время вопрос влияния метеорологических факторов на организм, и в частности на динамику АД, исследуется очень давно. Более 20 лет назад появились работы, в которых ставился вопрос о необходимости комплексного изучения влияния метеорологических и геомагнитных факторов на здоровье человека [2, 10, 20, 28, 34]. Однако в этих работах, во-первых, исследовались только эффекты, выявляемые на уровне популяций — средняя частота осложнений определенных заболеваний, случаев обращения в службу Скорой помощи, и т. д. Во-вторых, анализ ограничивался сравнением отдельно степени связи с геофизическими и метеорологическими факторами, без попыток анализа сочетанного влияния этих двух групп факторов.

Работ, в которых проводится анализ именно комплексного влияния геомагнитных и метеорологических факторов, крайне мало, и они также относятся к ответу на уровне популяций — динамике смертности и обострений различных заболеваний [17, 31].

Попытка индивидуальной оценки влияния внешних факторов на показатели сердечно-сосудистой системы человека была сделана в работах [1, 18], однако там рассматривались только гелиофизические и геомагнитные факторы, без учета погоды. Кроме того, длительность ежедневного мониторинга физиологических показателей в данном исследовании составляла 24 дня, что крайне мало для надежного выявления реакции организма на действие внешних факторов.

Анализ индивидуальной динамики показателей АД у 33 пациентов НИИ кардиологии им. А. Л. Мясникова с диагнозом артериальной гипертензии (АГ) 1 и 2 степени [15] и 114 здоровых волонтеров [12, 13] показал, что примерно 40 % здоровых людей и 60 % больных реагируют на действие геомагнитной активности (ГМА) изменением динамики показателей АД. При этом особенности индивидуальных реакций — амплитуда, знак эффекта, время ответа организма — могут сильно варьировать даже для однородных групп волонтеров. Например, характерное время сдвига начала реакции организма относительно

Целью работы является разработка методики анализа временных рядов физиологических и геофизических данных для определения степени индивидуальной чувствительности организма к метеорологическим и геомагнитным факторам. Рассматриваются особенности ежедневной динамики артериального давления (АД) у здоровых людей и больных артериальной гипертензией на временных интервалах порядка 2–3 месяцев, описаны процедуры выявления и исключения возможного вклада в нее социальных факторов. Показано, что метеорологические факторы зависимы между собой и характер этой зависимости периодически изменяется во времени, что должно быть учтено при анализе. В то же время геомагнитная активность (ГМА) может быть рассмотрена как фактор, независимый от погоды. Приведен алгоритм комплексной оценки вклада различных внешних факторов в динамику показателей АД, в том числе при наличии нестационарности и пропусков в рядах данных. Показано, что характер реакции на действие ГМА имеет вид быстрых вариаций длительностью порядка суток, в то время как ответ на действие факторов погоды проявляется в виде синхронизации медленных волн подъема-спада АД с периодом с нескольких дней.

Ключевые слова: космическая погода, геомагнитная активность, метеочувствительность, артериальное давление.

момента начала магнитной бури для разных людей может составлять от нуля (синхронная реакция на магнитную бурю) до 3 дней запаздывания. У некоторых людей отмечена достоверная, стабильная и значимая по амплитуде реакция уменьшения АД при возрастании ГМА [29].

При анализе динамики биологического ответа на действие магнитных бурь необходимо понимать, какое место данные факторы занимают в многоступенчатой иерархии факторов, влияющих на функциональное состояние человека.

Можно предположить, что максимальное действие оказывают социальные причины. Факторы, оказывающие влияние на значительные группы населения (дефолты, кризисы, государственные праздники), могут быть учтены при анализе популяционных данных. Однако такой учет невозможен в случае индивидуальных психоэмоциональных нагрузок, которые могут приводить и к резким ухудшениям самочувствия, и к обострению заболеваний. Учет таких обстоятельств возможен (и необходим) при индивидуальном мониторинге. Для этого в специальной графе примечаний должны быть отмечены те дни, в которые либо происходили нарушения режима питания или отдыха, либо испытывалось сильное психоэмоциональное напряжение. При дальнейшем анализе такие дни должны рассматриваться на этапе предварительного контроля данных и убираться из рассмотрения в случае, если будет показано, что специфическое действие того или другого фактора значимо сдвигает средние значения измеряемых физиологических показателей.

Вторую группу факторов, оказывающих влияние и на общее состояние здоровья, и на текущее самочувствие, составляют экологические факторы. Их можно условно разделить на факторы с медленной и быстрой изменчивостью. К первым относятся уровень загрязнения воздуха, обусловленный периодическими выбросами расположенных поблизости предприятий, повышенный уровень радиации в районах месторождений, пониженное (или повышенное) содержание йода и других веществ в воде. Быстрые вариации таких факторов невелики, поэтому при ежедневном мониторинге они будут вносить постоянный фоновый вклад в значения физиологических показателей. Этим вкладом можно пренебречь на первом этапе анализа, но он приобретет большую значимость позже, при сравнении особенностей индивидуальной чувствительности к внешним факторам у людей, проживающих на различных территориях. Существуют достаточно немногочисленные работы [16, 21], в которых сообщается о различии выраженности эффекта магнитных бурь в районах с благоприятной и неблагоприятной экологией.

Экологические факторы с быстрой изменчивостью либо связаны с внезапными промышленными выбросами, либо обусловлены изменениями погодных условий. Так, уровень загрязнения воздуха в значительной степени определяется силой ветра и наличием

осадков, концентрация радона в приземном слое повышается во время магнитных бурь и понижается во время сильных дождей, интенсивность инфразвука растет при прохождении циклонов, порывах ветра и магнитных бурях. Отделить действие таких факторов на организм от влияния непосредственно низкой температуры, высокой влажности или повышенных вариаций геомагнитного поля на настоящем этапе невозможно. Тонкое различие действия этих факторов возможно в будущем на основе анализа обширной базы знаний по оценке индивидуальной метео- и магниточувствительности людей, проживающих в различных регионах, измеренных в различные сезоны года и фазы цикла солнечной активности, а также динамике целого ряда параметров окружающей среды.

Однако, как уже было сказано, экологические факторы с быстрой изменчивостью в основном являются зависимыми от факторов погоды и ГМА. Таким образом, на начальном этапе необходимо надежно установить статистическое сходство динамики метео и геомагнитных факторов с динамикой физиологического ответа организма, не задаваясь вопросом о механизмах причинно-следственной связи.

Для этого необходимо разработать методику анализа сходства временных рядов с учетом того, что ряды физиологических данных обладают рядом следующих практически неустраняемых недостатков:

Малые длительности рядов мониторинга. Существуют единичные случаи мониторинга показателей АД на протяжении длительного времени (рекорд — 19 лет ежедневных измерений, Ф. Халберг, США). Практика показывает, что в норме крайне малое количество волонтеров выдерживает длительность ежедневных измерений более четырех месяцев.

Пропуски в рядах данных. При мониторинге, проводимом не в клинических или изолированных экспериментальных условиях, а в ритме повседневной жизни, пропуски являются неизбежными, от отдельных пропущенных дней в ряду данных до длительных перерывов между отдельными измерениями.

Нестационарность. При длительном мониторинге средние значения показателей АД могут изменяться под действием различных факторов, от приема лекарственных препаратов до изменения массы тела.

Высокий уровень зашумленности как артефактными значениями в рядах данных, так и влиянием других факторов.

Целью данного исследования являлась разработка методики анализа данных, пригодной для временных рядов с перечисленными выше недостатками и удовлетворяющей следующим требованиям:

корректность, т. е. точное соблюдение всех ограничений применимости того или иного статистического критерия;

относительная простота и доступность. Предлагается использование общеупотребительных статистических методов, доступных любому

пользователю в основных статистических пакетах. В настоящее время существует большое количество новых методов, применимых для исследования реакции организма на действие внешних факторов, но их широкое использование затруднено по ряду причин. Во-первых, применение вновь разработанного метода анализа другим пользователем требует либо покупки специализированного авторского пакета программ, либо обладания навыками программирования для самостоятельной реализации описанного алгоритма. Однако основной проблемой, по-видимому, является не слабая применимость стандартных статистических методов к обсуждаемым задачам, как утверждает ряд авторов. Куда более серьезной проблемой, во многих случаях определяющей отрицательный результат при поиске солнечно-биосферных связей, являются методические недостатки — интегральность подходов (в виде поиска средней реакции по группе волонтеров) и практическое отсутствие предварительно контроля качества и состава данных. Например, как было обнаружено [29, 30, 33], у людей близкого возраста и одинакового диагноза, обладающих сходной конституцией, реакция показателей АД на действие ГМА может быть прямо противоположной. Поиск среднестатистических закономерностей по группе из таких пациентов покажет надежное отсутствие какой-либо реакции;

наглядность. Результаты должны быть не только достоверно показаны статистическими методами, но и допускать наглядную интерпретацию;

практичность. Дальнейшее развитие метода должно допускать практическое применение в клинической практике для индивидуальной оценки чувствительности к внешним факторам пациентов с различными нарушениями функции сердечно-сосудистой системы и формирования персонального кратковременного прогноза опасных геомагнитных и метеорологических условий.

Материалы и методы

В работе были использованы результаты длительного (80–120 суток) индивидуального мониторинга показателей АД у следующих волонтеров: 37 практически здоровых уроженцев городов Москвы, Архангельска, Ростова-на-Дону и Симферополя (Украина). Возраст волонтеров (26 женщин и 11 мужчин) 19–66 лет. Измерения 2008–2009 годов. И 33 пациента с диагнозом АГ 1–2 степени на фоне гипотензивной терапии (НИИ кардиологии им. А. Л. Мясникова, Москва, измерения с 2001 по 2003 г.). Возраст волонтеров (19 женщин и 14 мужчин) $(56,4 \pm 8,4)$ года. Всем больным назначалась терапия индапамидом-ретард (арифон-ретард 1,5 мг, Сервье, Франция) однократно утром, при недостаточности гипотензивного эффекта через 4 недели к терапии присоединялся периндоприл (престариум, Сервье, Франция) в дозе 2–4 мг однократно утром.

Собственные показатели систолического и диастолического артериального давления (САД и ДАД)

и частоты сердечных сокращений (ЧСС) каждый волонтер 3-кратно регистрировал в одно и то же время суток, утром и вечером. Регистрацию показателей все волонтеры проводили осциллографическим методом с помощью цифровых измерителей АД и ЧСС (А&D, Япония); здоровые использовали модель А&D-777, с ручной регистрацией результатов, пациенты с АГ — модель А&D-767, с памятью на 126 измерений и автоматической регистрацией результатов. Кроме того, волонтеры отмечали в специальной графе дни, когда измерения АД были проведены на фоне нарушения привычного режима, приема лекарственных средств или бытовых стрессов. 17 волонтеров заполняли одновременно психологический опросник САН (самочувствие-активность-настроение).

Данные по уровню планетарной ГМА в виде суточных значений Кр-индекса получены с Интернет-сайта <http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/lists/geomag.html>.

Банк данных по 3-часовым значениям всех метеорологических показателей в различных географических пунктах (Москва, Симферополь, Архангельск) был взят с сайта <http://meteo.infospace.ru>.

Для каждого из 70 волонтеров был проведен индивидуальный сравнительный анализ динамики показателей АД с динамикой внешних факторов. Расчеты производили в программной среде MathLab 7.0 посредством стандартных и специально разработанных приложений. Были применены методы оценки нормальности распределений, расчета параметрического и рангового коэффициентов корреляции, кросскорреляционной функции, методы полосовой фильтрации, однофакторный вариационный и регрессионный виды анализа.

Результаты и их обсуждение

Верификация рядов данных. Ранее была показана необходимость 3-кратных измерений показателей АД [12]. Однако в результате проведения мониторинга стало понятно, что крайне целесообразным является также и регистрация в базе данных не только среднего значения этих трех измерений, но и всех результатов каждого из этих измерений. Такая форма регистрации позволяет, во-первых, оценить стабильность измерений (уровень разброса текущих результатов), во-вторых, что еще более важно, устранить в процессе предварительного анализа возможные артефакты, связанные с процессом регистрации. Например, при ручной записи результатов измерений распространенными являются ошибки записи числа не в ту ячейку, пропуска или перестановки цифр.

Как показала практика, предварительный контроль данных в некоторых случаях качественно менял окончательное заключение о характере индивидуальной чувствительности организма к внешним факторам. К сожалению, автоматизация такого предварительного контроля качества данных требует создания разветвленного логического алгоритма, не только с контролем средних значений, дисперсий, разностей, но и с учетом индивидуальной динамики волонтера, наличия социальных стрессов, терапии, и т. д.

Предварительная обработка данных. Мониторинг, проводимый на фоне гипотензивной терапии, может приводить к тому, что значения амплитуд резких повышений АД в начале и в конце мониторинга могут различаться на 20–30 единиц. На рис. 1 видно, что после начала мониторинга наблюдается плавное снижение среднего уровня САД пациента в течение примерно месяца, которое может быть объяснено назначенной гипотензивной терапией. В дальнейшем терапия не изменялась на протяжении всего периода мониторинга, поэтому первоначальный тренд в течение первого месяца мониторинга необходимо вычистить. Полученный в результате ряд изображен черной линией. В данном случае приведен результат вычитания аппроксимации экспоненциальной функцией, однако он практически совпадает с результатом вычитания линейной аппроксимации. Линейное приближение оказывается более корректным в случае наличия значительного числа пропусков измерений на участке аппроксимации.

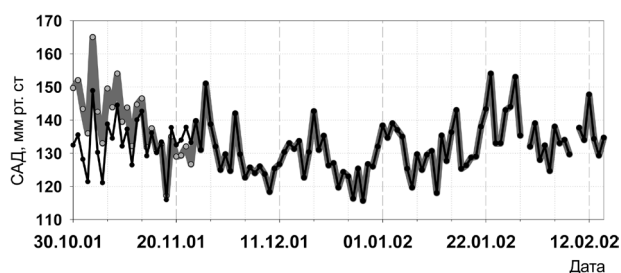


Рис. 1. Динамика показателей САД для волонтера А на фоне гипотензивной терапии. Женщина, 68 лет, АГ 2 степени, длительность 2 года, пациент кардиологического центра им. А. Мясникова. В начале мониторинга была назначена терапия индапамидом-ретард (арифон-ретард 1,5 мг, Сервье, Франция) однократно утром

Как было сказано выше, у некоторой части пациентов при недостаточности гипотензивного эффекта через 4 недели к терапии присоединялся периндоприл. В таких случаях из исходного ряда данных необходимо вычитать две экспоненты на различных участках ряда.

Исключение влияния социальных факторов. Анализу возможной связи показателей АД с метеорологическими и геомагнитными факторами должна

предшествовать оценка возможного вклада таких факторов, как нарушения режима сна или питания, прием лекарственных средств, бытовые стрессы. Для этого нужно оценить различие выборок показателей АД, измеренных в дни определенных стрессов и без них. В случае обнаружения достоверного влияния какого-либо социального фактора на показатели АД дни с такими стрессами должны быть исключены из анализа. Данное решение должно приниматься персонально для каждого конкретного волонтера или пациента на основе анализа его данных.

Линейное приближение анализа связи (корреляционный анализ) является элементарной, но очень информативной ступенью. Однако обнаруженный возможный сдвиг реакции показателей АД на действие внешнего фактора обуславливает необходимость построения кросскорреляционной функции ряда значений АД и соответствующего геомагнитного или метеорологического показателя (рис. 2). На рисунке видно сразу несколько принципиальных моментов. Во-первых, коэффициент корреляции синхронных значений САД и Кр-индекса практически равен нулю (рис. 2а), а единственный на промежутке в 40 суток максимум коэффициента корреляции наблюдается при сдвиге на двое суток — значения Кр-индекса опережают реакцию показателей АД, причем эта реакция является кратковременной, в течение примерно одних суток. Кратковременность реакции на возмущения ГМА подтверждает график кросскорреляционной функции (пунктирная линия на рис. 2а), построенный по ряду после низкочастотной фильтрации — в данном случае он практически совпадает с графиком по исходному ряду. Более наглядно данная ситуация отображена на рис. 3, где приведена ежесуточная динамика значений САД и Кр-индекса со сдвигом на двое суток вправо.

В то же время на рис. 2б и 2в видно, что реакция на атмосферное давление и на температуру носит качественно иной характер (реакции на влажность воздуха обнаружено не было). Экстремум коэффициента корреляции (положительный в случае температуры и отрицательный для атмосферного давления) является

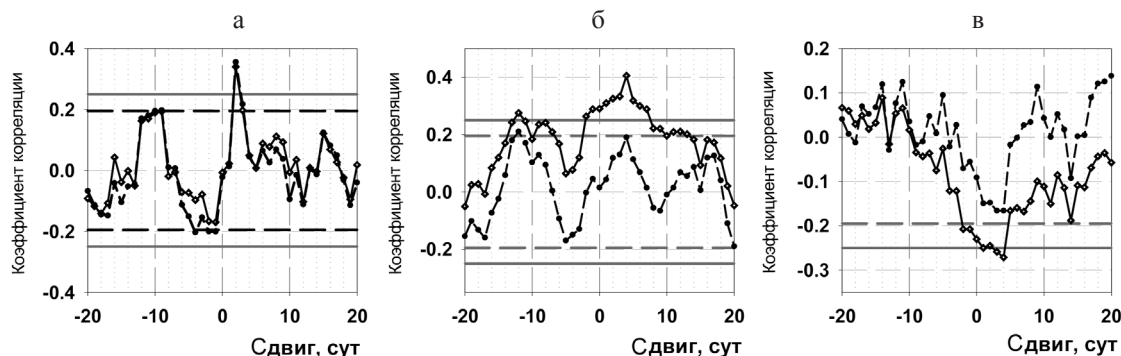


Рис. 2. Кросскорреляционные функции значений САД волонтера А с Кр-индексом (а), температурой воздуха (б) и атмосферным давлением (в). Сплошная черная линия - расчет произведен по исходным рядам данных (после вычитания начального тренда в течение первого месяца, обусловленного началом приема гипотензивных средств). Пунктирная линия — расчет произведен по временному ряду данных после вычитания низкочастотной составляющей (граница низкочастотного фильтра >7 сут)

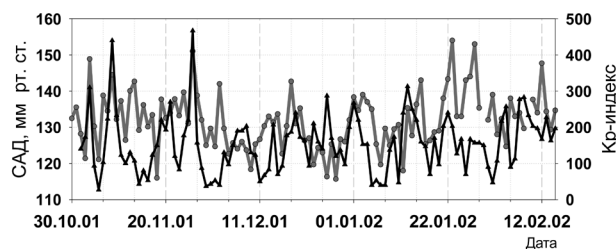


Рис. 3. — иллюстрация динамики значений САД волонтера А (серая линия) и Кр-индекса, сдвинутого вправо на двое суток (черная линия)

более широким, достигая экстремального значения при сдвиге на 4 суток и превышая второй уровень достоверности в диапазоне временных сдвигов от -2 до $+6...+8$ суток. Это говорит о том, что коэффициент корреляции в основном определяется не быстрыми вариациями, а низкочастотными волнами метеорологических показателей с периодами порядка 7–10 суток. В отличие от рис. 2а, в случаях 2б и 2в кросскорреляционные функции, построенные по исходным рядам и по высокочастотной составляющей рядов, значительно различаются. Вычитание из временных рядов низкочастотной составляющей сильно понижает значения коэффициентов корреляции, что еще раз подтверждает основной вклад низкочастотной составляющей вариаций метеорологических параметров в динамику показателей АД.

Построение кросскорреляционной функции является наглядным представлением особенностей временного хода ответа организма. Она позволяет легко оценить, насколько значение коэффициента корреляции синхронных рядов не просто достоверно, но и специфично относительно соседних сдвигов. При значительной вариабельности ряда значений показателей АД значимыми могут оказаться несколько коэффициентов корреляции при разных временных сдвигах. В этом случае для вывода о наличии связи с внешними факторами требуется дополнительное исследование, либо вывод должен быть подвергнут сомнению (несмотря на достоверность коэффициента корреляции).

Построение кросскорреляционной функции возможно даже при наличии большого количества пропусков в исходном ряду значений АД, хотя в этом случае стандартная процедура пошагового сдвига временных рядов друг относительно друга является некорректной. Необходимо построить таблицу, в которой каждому измерению показателей АД соответствуют строка из значений, например, Кр-индекса, в некотором временном диапазоне относительно даты данного измерения показателей АД, а затем вычислить значения коэффициентов корреляции ряда показателей АД с каждым столбцом. Ряд полученных коэффициентов корреляции и будет кросскорреляционной функцией.

В данной работе был выбран временной интервал от -20 до $+20$ суток, чтобы увидеть динамику

коэффициента корреляции для основных периодов, наблюдаемых в рядах параметров внешних факторов (для Кр-индекса 9 и 13 суток). Так, на рис. 2а видно, что кросскорреляционная функция имеет также локальные максимумы на сдвигах -11 суток и $+15$ суток, которые отстоят от основного максимума на $+2$ примерно на 13 суток. В то же время эти экстремумы имеют меньшую значимость.

Выявление доминирующего метеофактора. Таким образом, можно сказать, что для данного пациента (волонтер А) динамика АД определяется вкладом как геомагнитной составляющей, так и факторов погоды. Обнаружена статистическая связь показателей АД с температурой воздуха (прямая) и атмосферным давлением (обратная), однако не найдено корреляции с влажностью воздуха.

Анализ взаимосвязи параметров атмосферного давления и температуры на протяжении периода с 30.10.2001 по 14.02.2002 показывает, что между ними существует достоверная отрицательная корреляция, с экстремумом при нулевом сдвиге. Таким образом, эти два фактора в данный период времени тесно связаны, и на вопрос о том, какой из двух погодных факторов определяет в данном случае реакцию организма, нельзя ответить без дальнейшей детализации картины.

Можно предположить, что для волонтера А наиболее опасными являются периодические подъемы АД, в данном случае не объясняемые режимом питания или другими социальными факторами. Такие подъемы были зарегистрированы несколько раз за период наблюдений (см. рис. 3) — в самом начале мониторинга, в середине и в конце. Резкие подъемы АД в ноябре — декабре совпадают с днями магнитных бурь. В то же время систематический подъем АД в конце периода измерений и, в частности, резкие повышения АД (выше 140 мм рт. ст.) в период 22–23 и 26–28 января 2002 года объяснить влиянием ГМА нельзя.

Расчет динамики коэффициента корреляции в скользящем окне показывает, что после 8 января корреляция между температурой воздуха и атмосферным давлением отсутствует, в то время как именно на этот период приходятся три значительных подъема показателей АД. Аналогичное сравнение значений АД с каждым из этих параметров показывает, что в конце измерений наблюдается достоверная корреляция показателей АД с атмосферным давлением, но не с температурой. Совпадение вариаций САД с динамикой атмосферного давления иллюстрирует также рис. 4. Таким образом, можно предположить, что наиболее опасные для данного волонтера вариации показателей АД определяются атмосферным давлением, а зависимость от температуры является опосредованной.

Если представить каждый из проанализированных внешних факторов как базисный вектор в некотором 4-мерном пространстве, то оказывается, что

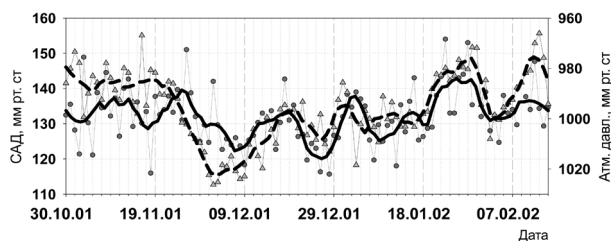


Рис. 4. Иллюстрация динамики показателя атмосферного давления и значений САД волонтера А. Приведены исходные ряды (САД — кружки, атмосферное давление — треугольники) и после применения высокочастотного фильтра (САД — сплошная линия, атмосферное давление — пунктир)

эти векторы не только не ортогональны, но имеют переменные во времени величины углов между метеорологическими переменными, что существенно осложняет анализ. Разработка точного метода оценки вклада нескольких взаимозависимых факторов в динамику АД является сложной задачей и будущим этапом данной работы.

Однако такое пространство допустимо в некотором приближении рассматривать как комбинацию двух независимых подпространств — ГМА и погоды. На настоящем этапе можно определить погодный фактор, чей вклад оказывается наиболее значимым (в данном случае это атмосферное давление), и принять предположение, что именно он вносит основной вклад погоды в динамику АД. Тогда можно разложить вектор значений АД по базисным векторам Кр-индекса и показателя атмосферного давления и оценить зависимость коэффициента корреляции от вклада каждого из этих факторов.

Поскольку статистические характеристики выбранных базисных векторов значительно различаются, они были предварительно приведены к нормализованному виду (среднее — 0, дисперсия 1). Затем были построены 11 временных рядов, являющихся линейной комбинацией двух базисных векторов в процентном соотношении двух сигналов от нуля до 100 % с шагом 10 %, и вычислены коэффициенты корреляции ряда значений АД с каждым из этих рядов.

Коэффициент корреляции между рядом показателей АД и значениями параметра определенного внешнего фактора эквивалентен косинусу угла между соответствующей парой векторов. Таким образом, чем выше коэффициент корреляции, тем больше проекция вектора значений АД на ось, задаваемую этим внешним фактором, тем значительнее вклад данного фактора в динамику АД.

Оказалось, что максимум коэффициента корреляции ($r = 0,42$ по 100 точкам, $p < 10^{-3}$) такого комбинированного ряда параметров внешних факторов с показателями АД наблюдается при соотношении вкладов Кр-индекса и атмосферного давления 6 : 4. Таким образом, данная линейная комбинация параметров внешних факторов описывает почти половину наблюдаемых вариаций САД данного пациента (рис. 5).

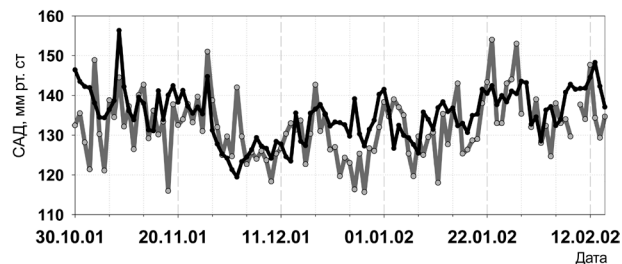


Рис. 5. Динамика показателя САД (серая линия) и комбинированного ряда, составленного в отношении 0,6Кр+0,4Р (ряды были предварительно нормированы к виду — среднее 0, дисперсия 1) — черная линия

Особенности реакции здоровых волонтеров.

Как показал проведенный анализ, здоровые волонтеры также в значительном числе случаев обнаруживают зависимость показателей АД от внешних факторов (в среднем 40 % обследованных).

Основное сходство с больными АГ заключается в аналогичном частотном характере реакции на ГМА и погодные факторы — быстрая реакция на действие ГМА и плавная — на действие погоды. Отличие заключается в том, что у здоровых все реакции на действие ГМА наблюдались синхронно с действием фактора, без задержки на 1–2 суток, характерных для больных.

Другим важным отличием здоровых волонтеров является наблюдаемая амплитуда реакции — все вариации показателей АД, в том числе и при действии внешних факторов, находились в пределах норм, характерных для здорового человека, т. е. не носили опасного характера.

Все случаи реакции здоровых волонтеров на действие ГМА имели положительный знак корреляции — показатели АД возрастали при повышении ГМА. Особенность заключалась в том, что такое повышение АД не для всех волонтеров носило отрицательный характер — для нескольких пациентов с гипотонией повышение АД в ответ на действие ГМА приводило к улучшению субъективных ощущений, общего самочувствия и улучшению одновременно измеряемых психофизических показателей [14].

Анализ динамики взаимосвязи метеорологических показателей. На рис. 6 приведена динамика коэффициента корреляции между синхронно зарегистрированными показателями атмосферного давления и температуры в г. Москве в период 01.01.2000–01.01.2009. Каждая точка соответствует коэффициенту корреляции по 100 значениям, абсцисса обозначает дату начала отрезка расчета. Стрелкой указан коэффициент корреляции, соответствующий 100-дневному периоду измерений волонтера А. Видно, что в динамике изменения метеорологических показателей существуют периоды синхронного и противофазного изменения, и выбранный в данной работе период измерений волонтера А относится к периоду сильной отрицательной корреляции между температурой и атмосферным давлением, одному из

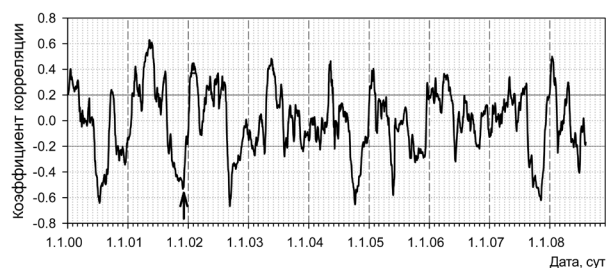


Рис. 6. — динамика коэффициента корреляции, построенного по 100 точкам в скользящем окне (шаг — 1 сутки) между значениями атмосферного давления и температуры воздуха, зарегистрированными в г. Москве в период 01.01.2000–01.01.2009 гг. Абсцисса обозначает первый день 100-дневного периода, для которого рассчитан коэффициент корреляции. Стрелкой показано значение коэффициента корреляции для периода измерений волонтера А (31.10.2001–15.02.2002)

нескольких достаточно редких и кратковременных. Корреляция между температурой и влажностью, а также давлением и влажностью за этот период отсутствует. При этом для данного волонтера была обнаружена разнонаправленная корреляция с динамикой температуры и атмосферного давления и не обнаружено связи с показателем влажности воздуха. Можно предположить, что характер взаимосвязи метеорологических факторов в период мониторинга вносит вклад в характер реакции организма на погоду.

Аналогичный анализ оценки корреляции Криндекса с каждым из метеорологических факторов показал, что динамику уровня ГМА можно считать независимой от других факторов.

Обсуждение

В данной работе были проанализированы результаты мониторинга группы испытуемых, предельно разнородной по всем принципиальным показателям — возрасту (от 19 до 74), полу, месту проживания (Архангельск, Москва, Симферополь, Ростов-на-Дону), анамнезу (здоровые и больные с диагнозом АГ 1 и 2 степени), наличию или отсутствию гипотензивной терапии, времени мониторинга (сезон года и фаза цикла солнечной активности). Такое разнообразие позволило максимально учесть особенности перечисленных различий и отработать детали применения метода оценки индивидуальной чувствительности для самых разных условий.

Выбор волонтера для иллюстрации необходимых этапов анализа был обусловлен не столько наглядностью связи его показателей с внешними факторами (около 40 % пациентов и волонтеров проявляет столь же выраженную и наглядную зависимость), а в большей степени количеством этапов анализа, которые можно было продемонстрировать на примере одного волонтера.

Детальный индивидуальный анализ статистической связи показателей АД с внешними факторами у 70 волонтеров показал, что действие факторов погоды и ГМА на организм человека во многих случаях может

быть надежно выявлено даже линейными методами статистического анализа. Принципиальным моментом анализа является аккуратное исключение на предварительном этапе анализа артефактов, неточных значений и вклада других действующих факторов, иногда значительно большей амплитуды. Таким образом, широко распространенная в литературе схема оценки изолированного влияния метеорологических или геомагнитных факторов на организм оставляет за пределами рассмотрения значительную часть общей картины, поскольку действие этих факторов является комплексным.

Одно из возможных объяснений этого факта заключается, по-видимому, в совпадении органов-мишеней при метео и геомагнитных воздействиях. Как было сказано в начале статьи, действие магнитных бурь на организм носит характер неспецифической реакции по типу адаптационного стресса и специфической реакции изменения сосудистого тонуса [3, 5, 6, 8]. Такой же характер носит реакция на действие факторов погоды.

Как показал проведенный выше анализ, основной сложностью является принципиальная взаимозависимость четырех внешних факторов. Так, параметры погоды (атмосферное давление, температуру и влажность) практически ни на каких участках нельзя считать независимыми. В то же время динамику вариаций ГМА можно рассматривать как независимую от факторов обычной погоды. Однако необходимо отметить, что и последнее утверждение не абсолютно и верно только в приближении, использованном в данной задаче. В то же время, когда речь идет о более длительных временах (порядка длительности солнечных циклов), говорить о независимости геомагнитных и метеорологических параметров неправомерно [7, 26, 27, 32].

Кроме того, динамика уровня ГМА в разные фазы цикла солнечной активности также проявляет качественно различные свойства. В случае необходимости сравнения результатов анализа динамики АД, полученных на разных фазах солнечной активности, подпространство ГМА и других гелиогеофизических факторов также необходимо будет рассматривать как неортогональное и нестационарное, но данный вопрос является предметом дальнейшей работы.

Операция расчета комбинированного вектора (ГМА — погода) эквивалентна по смыслу поиску коэффициентов разложения вектора значений АД в пространстве векторов внешних факторов (в данном случае векторов ГМА и атмосферного давления). Построенное в данной работе линейное приближение является крайне простым, однако оно значительно улучшает описание вклада внешних факторов в динамику показателей АД по сравнению с описанием отдельными векторами.

Можно также ожидать, что эти коэффициенты разложения вектора АД будут различными не только у разных людей, но и у одного и того же человека в раз-

ные моменты времени, и будут определяться степенью взаимосвязи основных метеорологических факторов. Однако этот вопрос, как и задача построения алгоритма разложения в случае неортогонального базиса, является предметом дальнейших исследований.

Заключение

Разработана методика анализа временных рядов физиологических и геофизических данных для определения степени индивидуальной чувствительности организма к метеорологическим и геомагнитным факторам. Рассматриваются особенности ежедневной динамики показателей артериального давления на временных интервалах порядка 2–3 месяцев, полученные в результате мониторинга волонтеров различного пола, возраста, места проживания, диагноза.

Описаны процедуры верификации и контроля качества исходных данных, выявления и исключения возможного вклада социальных факторов. Рассмотрена возможность применения метода кросскорреляционного анализа как наглядного метода выявления связи показателей АД с внешними факторами, в том числе при наличии нестационарности и пропусков в рядах данных.

Показано, что метеорологические факторы зависимы между собой, и характер этой зависимости периодически изменяется во времени, что должно быть учтено при анализе. В то же время геомагнитная активность может быть рассмотрена как фактор, независимый от погоды. Приведен алгоритм комплексной оценки вклада различных внешних факторов в динамику показателей АД. Показано, что характер реакции на действие геомагнитной активности имеет вид быстрых вариаций длительностью порядка суток, в то время как ответ на действие факторов погоды проявляется в виде синхронизации медленных волн подъема-спада АД с периодом в несколько дней.

Проанализированы общие закономерности и различия реакции на действие внешних факторов в группах здоровых людей и больных АГ. Показано, что реакция на действие метеорологических факторов носит сходный характер в этих двух группах, в то время как ответ организма на действие ГМА у больных людей в значительном числе случаев наблюдается с задержкой на 1–3 суток.

Автор благодарит А. Н. Рогозу (НИИ кардиологии им. А. Л. Мясникова) и П. Е. Григорьеву (Таврический гуманитарно-экологического институт) за предоставленные данные для отработки метода; Т. К. Бреус, А. М. Мерзлого и Л. В. Поскотинову за плодотворное обсуждение результатов работы; Программу Президиума РАН № 21 «Фонд фундаментальных наук — медицине» за финансовую поддержку работы.

Список литературы

1. Агулова Л. П. Биоритмологические закономерности формирования компенсаторно-приспособительных реакций в условиях клинической модели стресса : дис. ... д-ра биол. наук / Агулова Л. П. — Томск, 1999. — 250 с.
2. Адаптация к экстремальным геофизическим факторам и профилактика метеотропных реакций // Тезисы

докладов регионального симпозиума г. Новосибирск, 1–3 ноября 1989 г. — Новосибирск, 1989. — 91 с.

3. Баевский Р. М. Анализ variability сердечного ритма в космической медицине / Р. М. Баевский // Физиология человека. — 2002. — Т. 28, № 2. — С. 70–82.

4. Бреус Т. К. Влияние солнечной активности на физиологические ритмы биологических систем / Т. К. Бреус, Ф. Халберг, Д. Корнелиссен // Биофизика. — 1995. — Т. 40. — С. 737–748.

5. Бреус Т. К. Магнитные бури. Медико-биологические аспекты / Т. К. Бреус, С. И. Рапопорт. — М., 2003. — С. 186.

6. Вариабельность сердечного ритма при геомагнитных возмущениях и летных нагрузках на Севере / С. А. Черноус, Н. К. Белишева, В. Ф. Григорьев и др. // Материалы Международной конференции «Космическая погода: ее влияние на биологические объекты и человека» / под ред. О. Ю. Атькова и Ю. И. Гурфинкеля. — М., 2006. — С. 71.

7. Веретененко С. В. Солнечная активность и вариации космических лучей как фактор интенсивности циклонических процессов в умеренных широтах / С. В. Веретененко, В. А. Дергачев, П. Б. Дмитриев // Геомагнетизм и аэронавтика. — 2007. — Т. 47, № 3. — С. 399–406.

8. Влияние возмущений геомагнитного поля на реакцию адаптивного стресса у космонавтов / Т. К. Бреус, Р. М. Баевский, И. И. Фунтова и др. // Космические исследования. — 2008. — Т. 46, № 4. — С. 378–383.

9. Влияние геомагнитных возмущений на капиллярный кровоток больных ишемической болезнью сердца / Ю. И. Гурфинкель, В. В. Любимов, В. Н. Ораевский и др. // Биофизика. — 1995. — Т. 40, вып. 4. — С. 793–799.

10. Гавронский С. С. Влияние метеорологических факторов на частоту и тяжесть гипертонических кризов / С. С. Гавронский, П. Г. Мартынюк // Врачебное дело. — 1982. — № 2. — С. 52–53.

11. Гурфинкель Ю. И. Ишемическая болезнь сердца и солнечная активность / Ю. И. Гурфинкель. — М., 2004. — 170 с.

12. Зенченко Т. А. Методика оценки индивидуальной метеоро- и магниточувствительности организма человека и ее применение на различных географических широтах / Т. А. Зенченко, А. М. Мерзлый, Л. В. Поскотинова // Экология человека. — 2009. — № 10. — С. 3–11.

13. Индивидуальные типы реакции практически здоровых людей на действие геомагнитной активности / Т. А. Зенченко, С. Димитрова, И. Стоилова, Т. К. Бреус // Клиническая медицина. — 2009. — № 4. — С. 18–23.

14. Исследование характера связей физиологических и психофизиологических показателей организма с метеорологическими и геомагнитными факторами / Т. А. Зенченко, П. А. Цандеков, П. Е. Григорьев и др. // Геофизические процессы и биосфера. — 2008. — № 3. — С. 25–36.

15. К вопросам влияния геомагнитной и метеорологической активности на больных артериальной гипертензией / Т. А. Зенченко, Е. В. Цагарейшвили, Е. В. Ощепкова и др. // Клиническая медицина. — 2007. — № 1. — С. 31–35.

16. О влиянии минерализации питьевой воды на чувствительность сердечно-сосудистой системы к космофизическим факторам / Э. С. Горшков, В. В. Иванов, А. В. Храмов, и др. // Геофизические процессы и биосфера. — 2005. — Т. 4, № 1/2. — С. 39–43.

17. Ожередов В. А. Анализ характерных ритмов гелио-геомагнитной активности и их роли в синхронизации ритмов биологических объектов / В. А. Ожередов, Т. К. Бреус // Геомагнетизм и аэронавтика. — 2007. — Т. 47, № 6. — С. 810–818.

18. Оценка соотношения сигнал/шум — «информации

Кульбака» — в спектрах кардиоинтервалов у больных артериальной гипертензией в зависимости от космофизических факторов / Л. П. Агулова, В. Т. Сарычев, Е. Б. Коняева и др. // Биофизика. — 1998. — Т. 43, вып. 4. — С. 659–665.

19. *Периодические* изменения биоэлектрической активности мозга человека и их корреляции с колебаниями геомагнитного поля / В. А. Парфентьев, В. Н. Доронин, Р. А. Намвар и др. // Труды Международного конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». — СПб., 1997. — С. 278–279.

20. *Ревич Б. А.* Климатические условия, качество атмосферного воздуха и смертность населения г. Москвы в 2000–2006 гг. / Б. А. Ревич, Д. А. Шапошников // Климат, качество атмосферного воздуха и здоровье москвичей / под ред. Б. А. Ревича. — М., 2006. — С. 102–140.

21. *Хорсева Н. И.* Влияние гелиогеофизических факторов на психофизиологические показатели детей, проживающих в районах с различным уровнем загрязнения / Н. И. Хорсева, Т. А. Зенченко, А. А. Конрадов / Материалы Международной конференции «Погода и биосистемы», Санкт-Петербург, 11–14 октября 2006 года. — С. 51.

22. *Braud W. G.* Geophysical variables and behavior: LVIII, Autonomic activity, hemolytic and biological psychokinesis: Possible relationships with field activity / W. G. Braud, S. P. Dennis // Perceptual and Motor Skills. — 1989. — Vol. 68. — P. 1243–1254.

23. *Dimitrova S.* Human physiological reaction to geomagnetic disturbances of solar origin / S. Dimitrova, I. Stoilova // ESA SP-506. — 2002. — Vol. 1. — P. 129–132.

24. *Distribution* of death from ischemic heart disease and stroke. Environmental and aging influences in men and women / E. Stoupel, J. Petrauskienė, R. Kaledie, et al. // J. of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology. — 1996. — N 7. — P. 303–319.

25. *Do geomagnetic* disturbances of solar origin affect arterial blood pressure? / S. Ghione, L. Mezzasana, C. Del Seppia, F. Papi // J. Hum Hypertens. — 1998. — Vol. 12. — P. 749–754.

26. *Egorova L. V.* Influence of variations of the cosmic rays on atmospheric pressure and temperature in the South geomagnetic pole region / L. V. Egorova, V. Ya. Vovk, O. A. Troshichev // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. — 2000. — Vol. 62. — P. 955–966.

27. *Besprozvannaya A. S., Ohl G. I., Sazonov B. I., et al.* // J. Atmos. Terr. Phys. — 1997. — Vol. 59. — P. 1233–1241.

28. *Linares C.* Impact of high temperatures on hospital admissions: comparative analysis with previous studies about mortality (Madrid) / C. Linares J. Díaz // The European Journal of Public Health. — 2008. — Vol. 18(3). — С. 317–322.

29. *Merzlyi A. M.* Possible Application of Modern Information Technologies for the Prophylaxis of Aggravation of Cardiovascular Diseases, Induced by Variations of Meteorological and Geomagnetic Factors / A. M. Merzlyi, T. A. Zenchenko, S. K. Zenchenko // Global Telemedicine and eHealth Updates: Knowledge Resources / Jordanova M., Lievens F. (Eds) — Luxembourg : Luxexpo, 2009. — Vol. 2. — P. 379–384.

30. *Method of Psychophysical Parameters Monitoring* for Revealing of Human Sensitivity to Geomagnetic and Meteorological Factors / T. A. Zenchenko, T. K. Breus, A. M. Merzlyi, et al. // Global Telemedicine and eHealth

Updates: Knowledge Resources. — Luxembourg, 2009. — Vol. 2. — P. 371–375.

31. *Ozheredov V. A.* Application of forecasting procedures to the quest of revealing influence factors hierarchy / V. A. Ozheredov, T. K. Breus, Yu. I. Gurfinkel // Fundamental Space Research Sunny Beach, Bulgaria, 21–28 Sep. 2008.

32. *Shea M. A.* Preliminary study of cosmic rays, geomagnetic field changes and possible climate changes / M. A. Shea, D. F. Smart // Adv. Space Res. — 2004. — Vol. 34. — P. 420–425.

33. *Typology* of Typical Reactions on the Space and Usual Weather Variations for Patients Suffering From Hypertension and for Healthy People / T. A. Zenchenko, T. K. Breus, E. V. Tsagareishvili, et al. // Global Telemedicine and eHealth Updates: Knowledge Resources. — Luxembourg, 2009. — Vol. 2. — P. 409–413

34. *The 2006 California Heat Wave: Impacts on Hospitalizations and Emergency Department Visits* / K. Knowlton, M. Rotkin-Ellman, G. King, et al. // ISEE/ISEA 2008 Conference Abstracts - 918.

METHODS OF ANALYSIS OF DATA TIME SERIES IN COMPREHENSIVE EVALUATION OF HUMAN'S METEO-AND MAGNETO-SENSITIVITY

T. A. Zenchenko

Space Research Institute of RAS, Moscow

Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of RAS, Pushchino, Moscow region

The purpose of the work is the developing of a methodology for analyzing time series of physiological and geophysical data to determine the degree of individual sensitivity to geomagnetic and meteorological factors. We consider characteristics of the daily dynamics of blood pressure in healthy individuals and hypertensive patients at intervals of 2-3 months. The procedures of identifying and excluding of a possible contribution of social factors are described. It is shown that meteorological factors are dependent on each other and the character of this relationship varies periodically in time, which should be taken into account in the analysis. At the same time, geomagnetic activity can be considered as a factor, regardless of the weather. The algorithm for integrated assessment of the contribution of various external factors in the dynamics of blood pressure parameters is given, including the presence of transient and omissions in the data series. It is shown that the nature of the reaction to the geomagnetic activity has the character of rapid variations with the duration of about one day, while the response to the action of weather factors is manifested in the form of synchronization of slow waves of blood pressure with a period of several days.

Key words: space weather, geomagnetic activity, meteosensitivity, blood pressure.

Контактная информация:

Зенченко Татьяна Александровна — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института космических исследований (ИКИ) РАН, старший научный сотрудник Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, ИКИ
E-mail: zench@mail.ru

Статья поступила 03.06.2009 г.