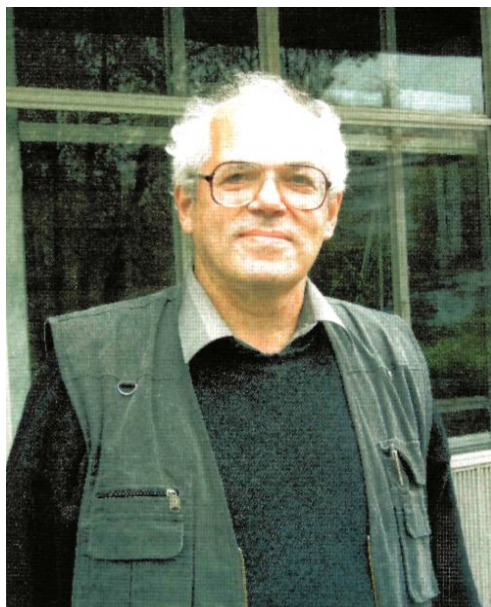


УДК 550.3/550.8



В.В. Цетлин



О.И. Аптикаева

**Цетлин В.В.*,
Аптикаева О.И.****

Ритмы природных процессов в вариациях электрических токов в межэлектродном промежутке

*Цетлин Владимир Владимирович, доктор технических наук, заведующий лабораторией ГНЦ РФ — Институт медико-биологических проблем РАН
E-mail: v_tsetlin@mail.ru

** Аптикаева Ольга Ивановна, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН
E-mail: aptikaevaoui@mail.ru

Проанализированы квазипериодические вариации электрических токов в чистой воде, заполняющей электрохимическую ячейку. Предполагается, что периодичности от 1 минуты до 1 месяца вызываются воздействием природного электромагнитного излучения и обусловлены как солнечной радиацией, так и лунно-солнечной приливной энергией. Синхронизирующее влияние на вариации тока того или иного внешнего фактора, по-видимому, зависит от конкретного диапазона периодов.

Ключевые слова: электрические токи в чистой воде, электромагнитное излучение, биологические ритмы, геодинамика, спектрально-временной анализ.

Введение

Идея проведения описанных в предлагаемой работе исследований возникла в процессе экспериментов по изучению биофизических механизмов воздействия малых доз ионизирующего излучения на живые организмы. Частью этого эксперимента являлся мониторинг фоновых вариаций электрических токов в межэлектродном промежутке (ЭТП) двухэлектродных ячеек, работающих в режиме электролитической ванны при постоянном электрическом поле. Оказалось, что ЭТП в условиях отсутствия прямого влияния на них солнечного света (ячейки помещались в светонепроницаемые ящики) испытывают в течение суток квазипериодические изменения. При этом экстремальные значения токов приходились, как правило, на местный астрономический полдень, а также наблюдались на восходе и заходе Солнца [Цетлин и др. 2003, 2005].

Известно, что величина тока в межэлектродном пространстве определяется поляризацией электродов, или контактной разностью потенциалов между поверхностью электрода и раствором. В воде высокой степени очистки, в условиях термодинамического равновесия электродный потенциал равен разности между химическим потенциалом металла электрода и окислительно-восстановительным потенциалом молекул воды (ОВП) [Захарьевский 1967]. В свою очередь ОВП воды определяется концентрацией молекул воды, имеющих возбужденное состояние электронных оболочек, связанное с поглощением водой проникающего из окружающей среды электромагнитного и ионизирующего излучения. Очевидно, что даже слабое воздействие последних на воду должно увеличивать концентрацию возбужденных молекул и вызывать изменение скорости протекания различных окислительно-восстановительных реакций в растворах. Возбуждение электронных оболочек молекул воды приводит к снижению ОВП и, как следствие, к уменьшению электродного потенциала на стальном электроде и его увеличению на платиновом электроде.

В соответствии с существующими представлениями о полупроводниковом механизме проводимости клеточных мембран [Оше, Урусов 1984] наблюдаемая ритмичность ОВП воды может быть одним из факторов формирования биоритмов:

— вода обладает высокой лабильностью физико-химических свойств и чувствительностью к воздействию вариаций внешнего электромагнитного поля;

Цетлин В.В., Аптикаева О.И. Ритмы природных процессов в вариациях электрических токов в межэлектродном промежутке

— при постоянстве химического состава и температуры воды эти вариации могут вызывать изменения состояния электронных оболочек молекул воды.

Целью предлагаемой работы является поиск аргументов в пользу гипотезы о механизме влияния солнечно-земных связей на жизнь Биосферы, высказанной в работах [Цетлин и др. 2008; Цетлин 2010]. **Согласно этой гипотезе, воздействие космофизических факторов на земные организмы реализуется через вариации электромагнитных полей (ЭМП) природного фона. Поглощение электромагнитных импульсов (ЭМИ) природного фона водной средой организмов закономерно приводит к активации молекул воды, изменению ОВП и скорости биохимических процессов на биологических мембранах клеток, стенках сосудов и в других приграничных областях, которыми изобилуют биологические объекты. Биохимические процессы, в свою очередь, оказывают влияние на обменные и регуляторные функции организма.**

Одним из таких аргументов могло бы стать сходство динамики низко интенсивных космофизических и геофизических параметров и электроактивных свойств воды. Здесь анализируется максимально широкий на данном этапе исследований спектр ритмов вариаций ЭТП и внешних параметров (в диапазоне периодов от 1 минуты до 1 месяца). Конечно, само по себе наличие характерных ритмов в структуре временных вариаций разных параметров еще не является свидетельством причинно-следственных связей между соответствующими процессами. Тем не менее, присутствие в их спектральной структуре одних и тех же ритмов позволяет рассматривать механизм синхронизации как возможный механизм воздействия колебаниями геофизических и космофизических процессов на вариации ЭТП.

Ряды данных и методика их обработки

Условия эксперимента подробно описаны в работе [Цетлин 2010]. В экспериментах измерялись электрические токи в двухэлектродных электрохимических ячейках объемом 50 или 150 мл, заполненных водой высокой степени очистки (удельная проводимость $\sigma = 0,1-0,2$ мкСм), полученной из дистиллята на специальной установке. Использование в экспериментах воды высокой степени очистки, предполагалось снизить (а в идеале практически исключить) участие в процессе электролитических примесей.

Результаты проведенных исследований основаны на данных круглосуточного мониторинга за электрическими токами в межэлектродном промежутке (ЭТП) с секундной дискретизацией за период 18.05—18.12.2009 г. К сожалению, мониторинг время от времени прерывался по разным причинам, поэтому непрерывные ряды наблюдаемых параметров оказались более короткими. Например, максимальная длина рядов, составленных из среднечасовых значений ЭТП с платиновыми (ЭТП-п) и стальными (ЭТП-с) электродами составила 116 сут (18.05—10.09.09). Максимальная длина непрерывных рядов с минутной дискретизацией — 24 сут (30.06—23.07.09).

Чтобы исключить прямое влияние солнечного света на токи в воде ячейки помещались в светонепроницаемые ящики. Параллельно проводился мониторинг освещенности (Е), которая измерялась с помощью кремниевого фотоприемника, укрепленного на оконном стекле, обращенном на юг.

В данной работе вариации электрических токов в водной электрохимической ячейке рассматриваются как проявление реакции воды на воздействие (через электромагнитное поле) периодических и непериодических геофизических и космофизических факторов. Поэтому здесь анализу подвергались также ряды внешних факторов, которые, по мнению авторов, могут оказывать влияние на амплитуды ЭТП. Среди них индексы геомагнитной и солнечной активности, скорость вращения Земли, объемная активность радона, метеофакторы.

Для обработки временных рядов данных использовались различные методы анализа: спектрально-временной, вейвлет-анализ, способ, основанный на расчетах структурных функций и др. Достоинства и недостатки этих методов для спектрально-временного анализа рядов данных подробно описаны в [Аптикаева 2009].

Структура рядов ЭТП рассматривалась на разных масштабных уровнях. Для изучения длиннопериодных вариаций ЭТП привлекались ряды длиной 116 суток с дискретизацией 1 час, а для изучения вариаций с периодами менее часа — ряды с минутной дискретизацией.

Сравнение ритмической структуры рядов ЭТП и некоторых геофизических и космофизических факторов

Накопленный опыт мониторинга геофизических полей и геодинамических явлений, свидетельствует о существовании взаимосвязи этих явлений как с внешними по отношению к геосферам космофизическими факторами, так и с эндогенной активностью Земли. Явления в системе атмосфера-ионосфера и активные геодинамические процессы в земной коре, представляются взаимообусловленными. Присущая воде высокая лабильность физико-химических свойств в условиях изменяющегося внешнего электромагнитного поля дают основания рассматривать ее как индикатор, чувствительный к различным внешним воздействиям.

Мониторинг фоновых вариаций ЭТП проводился в условиях максимально приближенным к естественным, исключалось только прямое влияние на токи солнечного света. Другими словами эксперимент проводился в условиях сложных взаимодействий литосферы с атмосферой и ионосферой. Для описания таких взаимодействий, а также процессов самоорганизации геосфер и механизма трансформации между ними энергии создаются комплексные модели. Их разработке

Цетлин В.В., Аптикаева О.И. Ритмы природных процессов в вариациях электрических токов в межэлектродном промежутке

предшествует поиск корреляционных (а, возможно, и причинно-следственных) связей между соответствующими параметрами. Для чего проводятся инструментальные наблюдения за самыми разными процессами, совмещенные в пространстве и во времени [Адушкин, Сливак 2008].

В данном случае совместно рассматриваются спектральный состав и возможный генезис вариаций параметров, отражающих процессы, связанные с межгеосферными взаимодействиями, с одной стороны, и вариаций тока в электрохимической ячейке — с другой.

Чтобы получить представление об общих тенденциях изменения ритмической структуры вариаций описываемых параметров, рассмотрим их временные ряды продолжительностью 116 суток с дискретизацией 1 час (рис. 1) и результаты их вейвлет-анализа (рис. 2).

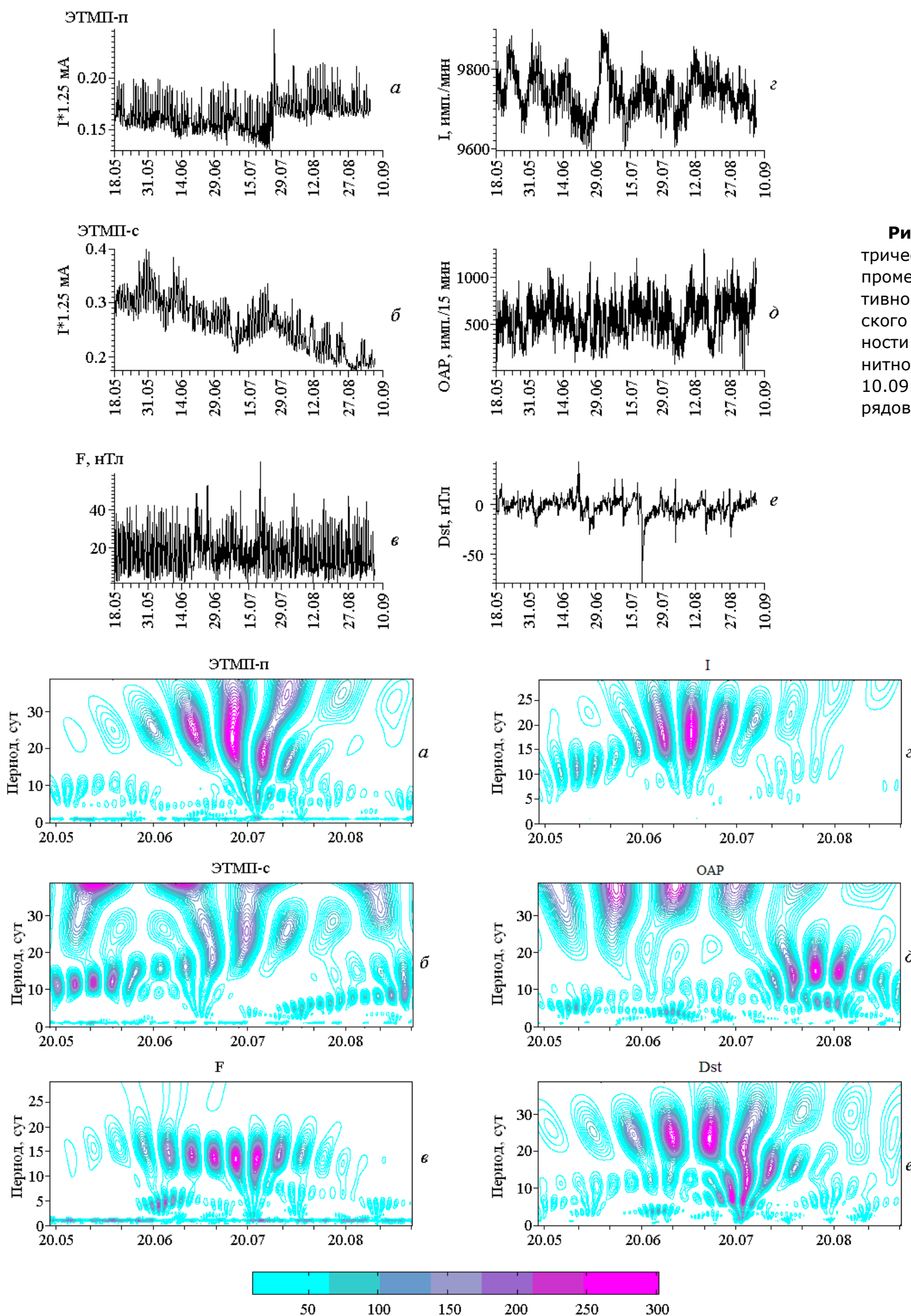


Рис. 1 Временные вариации электрических токов в межэлектродном промежутке (а, б), геомагнитной активности (в), интенсивности космического излучения (г), объемной активности радона из грунта (д) и геомагнитного индекса (е) за период 18.05—10.09.09. Частота дискретизации всех рядов 1 час.

Рис. 2. Результаты вейвлет-анализа рядов параметров, приведенных на рис. 1

Цетлин В.В., Аптикаева О.И. Ритмы природных процессов в вариациях электрических токов в межэлектродном промежутке

Временная структура рассматриваемых процессов, как и большинства природных процессов, включает ритмические, трендовые, пульсационные, шумовые компоненты, а также смены уровней (**рис. 1**). Например, для ряда ЭТП-п характерно резкое изменение уровня 23.07.09. Ряд ЭТП-с в течение всего рассмотренного интервала испытывал понижающий тренд. Ряды Dst и ЭТП-п осложнены всплесками-выбросами. Визуальный анализ первичных рядов помимо тренда и общего представления об уровне нерегулярных колебаний позволяет обнаружить относительно длиннопериодные двухнедельные ритмы. Более короткопериодные ритмы, а также скрытые периодичности, выявляются при спектральном анализе, а динамика процессов — при спектрально-временном или вейвлет-анализе.

Спектральный анализ рядов ЭТП-п и ЭТП-с выявил наличие высокоамплитудного суточного и полусуточного ритмов. В короткопериодном диапазоне присутствуют ритмы с периодом ~ 8 и ~ 6 час. Амплитуда наиболее устойчивого суточного ритма варьирует в течение рассматриваемого временного интервала, это хорошо видно на **рис. 2 а,б**, где показаны результаты вейвлет-анализа (далее вейвлет-диаграммы) этих рядов. Они представляют собой поверхности, которые на рисунке изображены в виде изолиний разного цвета, шкала палитры приведена внизу рисунка. На всех последующих рисунках цветовая палитра та же. Длиннопериодные ритмы также варьируют как по периоду (от 8 до 12—14 сут.), так и по амплитуде (вплоть до полного исчезновения с вейвлет-диаграмм). Ритм с периодом около 10 сут., который отчетливо проявляется в мае — июне, к началу июля исчезает. В последующие две-три недели структура рядов претерпевает значительную перестройку, а к концу августа ритмы с периодом около 10 сут. появляются снова. Кроме того, в ритмической структуре обоих рядов присутствуют ритмы с периодами от 3 до 6 сут.

В вариациях ЭТП-п ритм с периодом 5 сут. оказался наиболее прослеживаемым во времени. Иногда он исчезает, а вместо него появляются два ритма с периодами 3 и 6 сут. Такие изменения мы называем десинхронизацией ритма. В структуре ряда ЭТП-с с начала августа до 10 сентября можно заметить дрейф периода ритма от 5 к 8 сут.

Рассмотрим теперь ритмическую структуру некоторых геофизических и космофизических факторов, которые могут оказывать влияние на динамику ЭТП.

При спектральном анализе вариаций **геомагнитной активности**, как и в описанном выше случае, обнаруживаются высокоамплитудный суточный ритм и на порядок более слабый полусуточный. В короткопериодном диапазоне присутствует ритм с периодом ~ 8 и ~ 6 час.

Суточные ритмы вариаций геомагнитного поля обусловлены суточным вращением Земли, ее движением по орбите и положением Луны относительно горизонта. Процессы ионизации в верхней атмосфере под воздействием волнового излучения Солнца приводят к возникновению регулярных в пределах солнечных суток движений электропроводящей среды геомагнитного поля. Результатом этих процессов являются спокойные солнечносуточные вариации геомагнитного поля с амплитудой в средних широтах ~ 50 нТл, которая зависит от солнечных приливных движений и термоприливов в атмосфере, приводящих к движениям ионосферы. Лунный прилив вызывает полусуточные вариации, интенсивность которых, как уже отмечалось, в десятки раз меньше суточных.

Как известно, среди ритмов вариаций геомагнитных индексов часто обнаруживается 27-суточный ритм геомагнитной активности солнечного происхождения. Активные области на Солнце выбрасывают солнечную плазму в виде высокоскоростных потоков, которые вызывают возмущение геомагнитного поля. Так как активные области на Солнце могут сохраняться в течение нескольких солнечных оборотов, они обуславливают 27-суточную периодичность геомагнитной активности. В течение всего периода наблюдений солнечная активность была аномально низкой, по-видимому, поэтому 27-суточные периодичности в структуре вариаций геомагнитной активности не отмечены (**рис. 2 в**).

Кроме суточного, в структуре вариаций геомагнитного поля отчетливо прослеживается двухнедельный ритм. Наличие ритмов с периодами 12—14 суток (и более короткопериодных 6—9 суточных) некоторые авторы объясняют взаимодействием геомагнитного поля с секторами межпланетного магнитного поля.

Дополнительную ионизацию в ионосфере Земли вызывают потоки солнечных лучей.

Солнечные космические лучи проявляются в межпланетном пространстве в виде интенсивных потоков заряженных частиц после хромосферных вспышек. Геомагнитное поле в значительной степени экранирует Землю от первичных космических лучей — до плотных слоев атмосферы доходят лишь частицы высокой энергии, динамику которых отражает **рис. 2 г**. Их взаимодействие с атомами приводит к возбуждению или ионизации последних. Т.е. космические лучи могут оказывать влияние на ЭТП и непосредственно, возбуждая молекулы воды, и опосредовано — через дополнительную ионизацию воздуха.

Отметим, что в структуре ряда интенсивности космического излучения наиболее устойчив во времени суточный ритм. В масштабе **рис. 2 г** он не виден, т.к. по сравнению с другими ритмами его амплитуда невысока, но хорошо прослеживается на **рис. 4**. Более длиннопериодные ритмы неустойчивы как по периоду, так и по амплитуде.

Радон поступает в атмосферу с субвертикальными потоками почвенного воздуха. Перераспределение напряжений в массиве горных пород сопровождается вариациями объемной активности радона. Уровень концентрации радона повышается с ростом активности микросейсмических воздействий. Из анализа экспериментального материала следует, что в среднеширотных условиях на уровне дневной поверхности более 75% всего объемного заряда воздуха генерируется за счет радиоактивного излучения почвенного радона [*Шулейкин 2003*]. Как видно из **рис. 2 д**, в вариациях объемной активности радона лучше всего выражены ритмы с периодами 5, 7 и 14 суток, суточный ритм появляется только время от времени.

Dst-индекс представляет собой количественное измерение геомагнитного возмущения (интенсивность магнитных

Цетлин В.В., Аптикаева О.И. Ритмы природных процессов в вариациях электрических токов в межэлектродном промежутке

бурь). Короткопериодные гармоники в структуре этого ряда появляются эпизодически. Здесь доминируют двухнедельный и месячный ритмы (**рис. 2 е**).

Анализ рядов **метеопараметров** здесь не приводится, их ритмическая структура подробно описана в [Атлас временных вариаций...2002], а основные ритмы в рассматриваемом диапазоне периодов вариаций температуры воздуха (Т), влажности (RH) и атмосферного давления (P_{атм}) представлены в **таблице 1**.

Резюмируя приведенные выше данные, можно сказать, что наличие в структуре вариаций ЭТП суточного ритма не вызывает сомнений, он выделяется всеми методами спектрально-временного анализа, но амплитуда его непостоянна. Суточный ритм имеет место и в структуре геомагнитных вариаций, вариаций интенсивности космического излучения и ряда атмосферных факторов. Он также обнаруживается, хотя и не является доминирующим, в вариациях объемной активности радона.

Из нашего анализа следует также, что помимо суточного ритма в структуре рядов ЭТП присутствуют и более короткопериодные полусуточный и 8-часовой ритмы. Отметим, что те же гармоники обнаруживаются в спектрах вариаций многих параметров, характеризующих самые разные потенциальные геофизические поля. Например, в спектрах вариаций: геоэлектрических параметров горных пород [Атлас временных вариаций...1998], интенсивности сейсмического шума [Беляков и др. 1991, 1996, 1999], сейсмичности в различных районах мира [Журавлев, Сидорин 2006]. Некоторые исследователи считают, что существование этих гармоник может быть обусловлено суточной и полусуточной периодичностями в вариациях естественного электромагнитного поля Земли [Журавлев и др. 2006; Гаврилов и др. 2006; Сидорин 2005]. В последние годы установлено также существование высокочастотных суточной и полусуточной гармоник в вариациях скорости вращения Земли [Жаров 2005]. Есть основания предполагать, что эти высокочастотные гармоники в принципе могут обуславливать аналогичные периодичности в реализации самых разных процессов.

В вариациях ЭТП в диапазоне периодов более суток обнаружены ритмы с периодами 3, 4—5, 10—13 суток и более длиннопериодные — околосесячные ритмы. В предыдущих работах [Цетлин 2010] высказывалось предположение, что суточные вариации окислительного потенциала воды связаны с возбуждением электронных оболочек электромагнитным излучением не только природного происхождения (на величину токов может оказывать влияние также электромагнитное излучение техногенного происхождения). По-видимому, влияние вариаций техногенных факторов в данном случае большой роли не играет, т.к. в структуре вариаций не отмечены околосесячные ритмы, связанные с рабочей неделей. Основные ритмы вариаций рассмотренных параметров сведены в **таблицу 1**. Все они варьируют по периоду и амплитуде, но наиболее выражен среди них околосесячный ритм. Он характерен для вариаций большинства из рассмотренных в рамках данной работы параметров. Отметим, что существование 14-ти суточных периодичностей было установлено также при исследовании интенсивности сейсмического шума в диапазоне частот 20-2000 Гц в штольнях и глубоких скважинах [Беляков и др. 1991, 1996, 1999].

Таблица 1

Периодичности, присутствующие в структуре вариаций рассмотренных параметров

Периоды ритмов	ЭТП-п	ЭТП-с	F	ОАР	I	P _{атм}	T°	RH	E	v	Dst
8 час	+	+	+								
12 час	+	+	+								
1сут	+	+	+	+	+		+	+	+		
~5 сут	+			+			+	+	+		
~7 сут			+	+			+	+	+		
2-х нед.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1 мес.										+	+

Сравнивая динамику вариаций ЭТП-п и ЭТП-с в длиннопериодном диапазоне можно заметить различия (**рис. 2**), в то же время, динамика каждого из этих параметров совпадает с динамикой вариаций одного или сразу нескольких из упомянутых выше внешних факторов. Например, ритм с периодом ~5 суток в вариациях ЭТП-п по времени проявления совпадает с таковым в структуре вариаций геомагнитного поля Земли (F), в том же временном интервале он обнаруживается и в вариациях объемной активности радона (ОАР). Двухнедельные гармоники в вариациях ЭТП-с и интенсивности космического излучения (I) появляются и исчезают синхронно.

При всех индивидуальных особенностях динамики рассмотренных параметров обращает на себя внимание структурная перестройка многих из них в двадцатых числах июля. Такая же перестройка характерна и для вариаций скорости вращения Земли (v) (**рис. 3**). Она произошла непосредственно вслед за положительной аномалией солнечной активности (W) 4—6 июля 2009 г. и полным солнечным затмением 22 июля 2009 г. В вариациях скорости вращения Земли около 25 июля 2009 г. наблюдается заметное возмущение. На вейвлет-диаграмме оно проявляется в изменении структуры ритмов в диапазоне периодов от 7 до 35 суток — существенно уменьшилась интенсивность околосесячного (27-суточного) ритма, до этого так же хорошо выраженного, как и двухнедельный.

Цетлин В.В., Аптикаева О.И. Ритмы природных процессов в вариациях электрических токов в межэлектродном промежутке

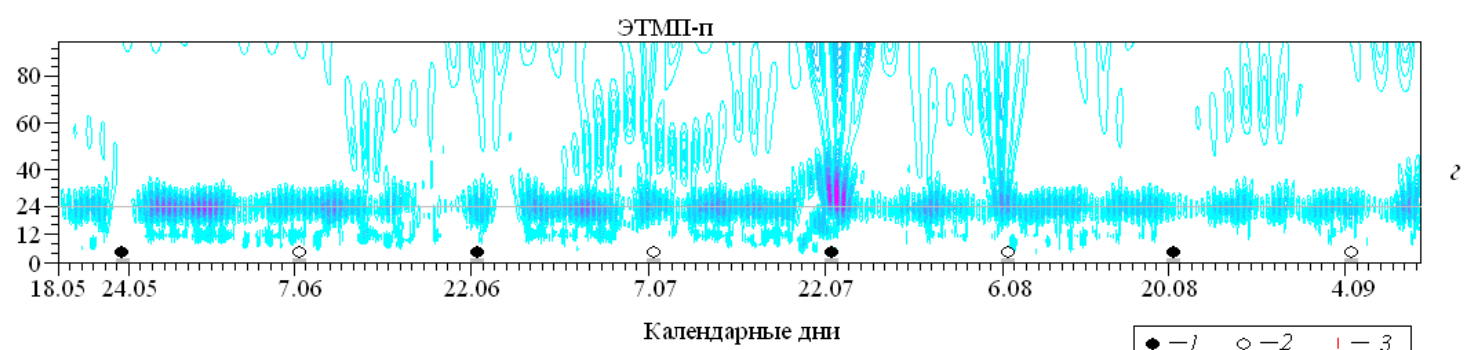
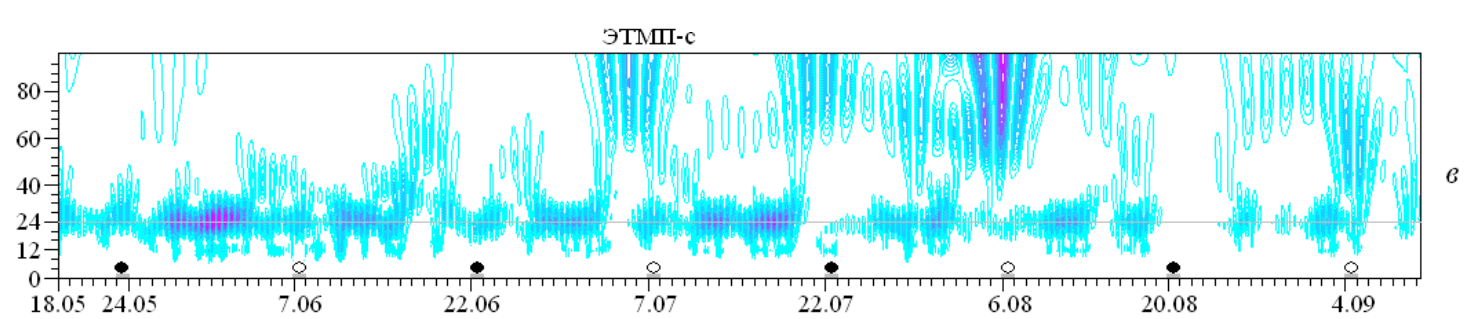
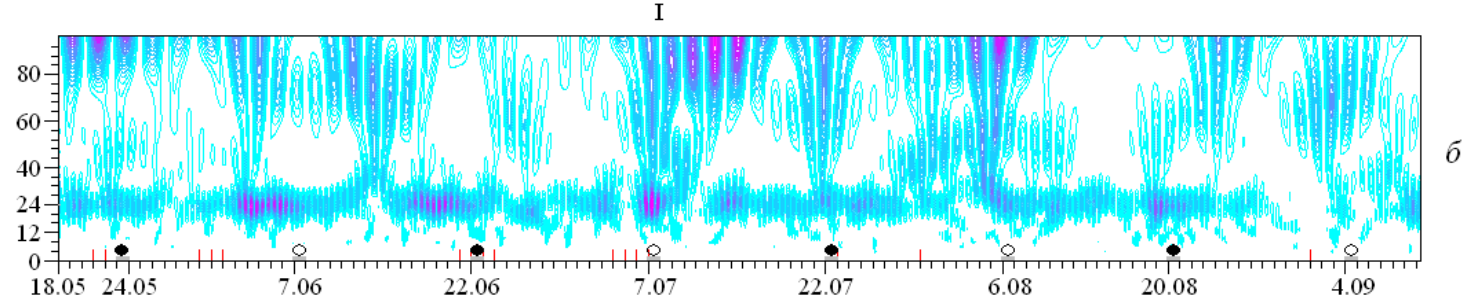
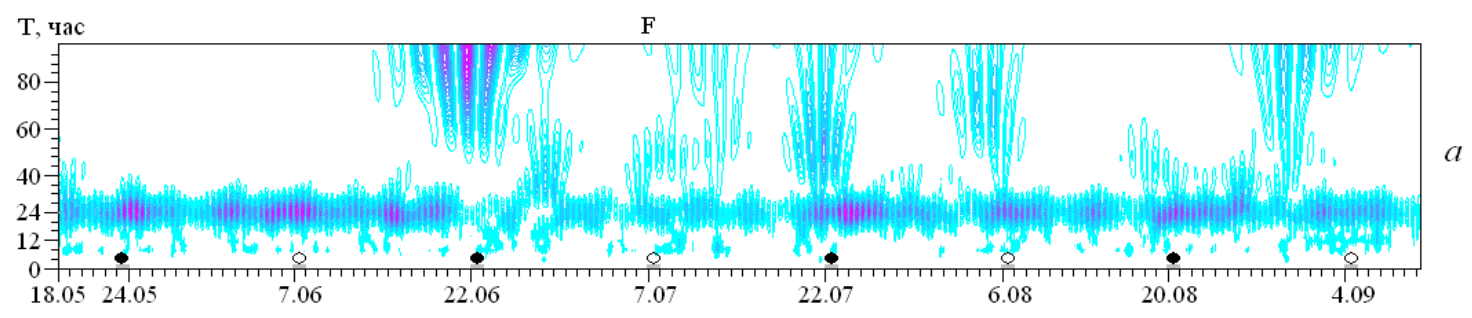
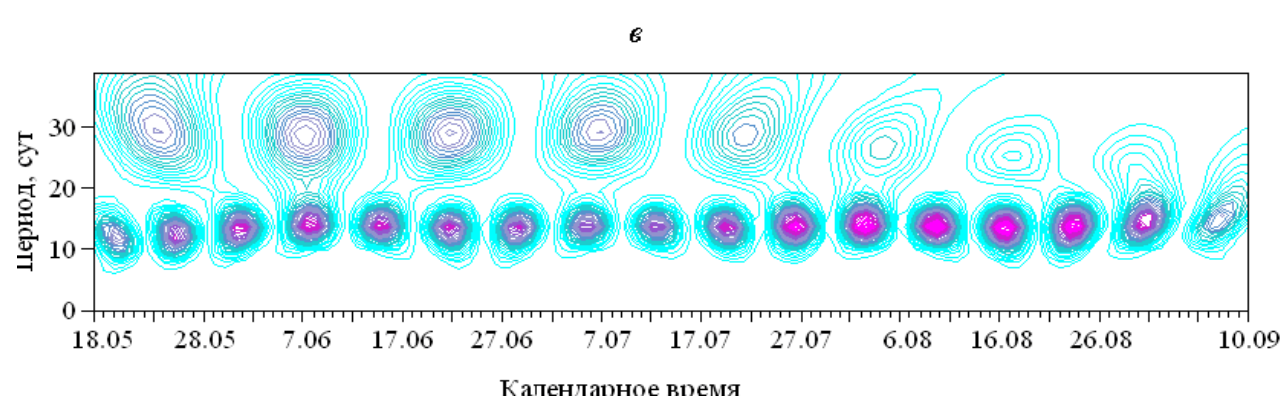
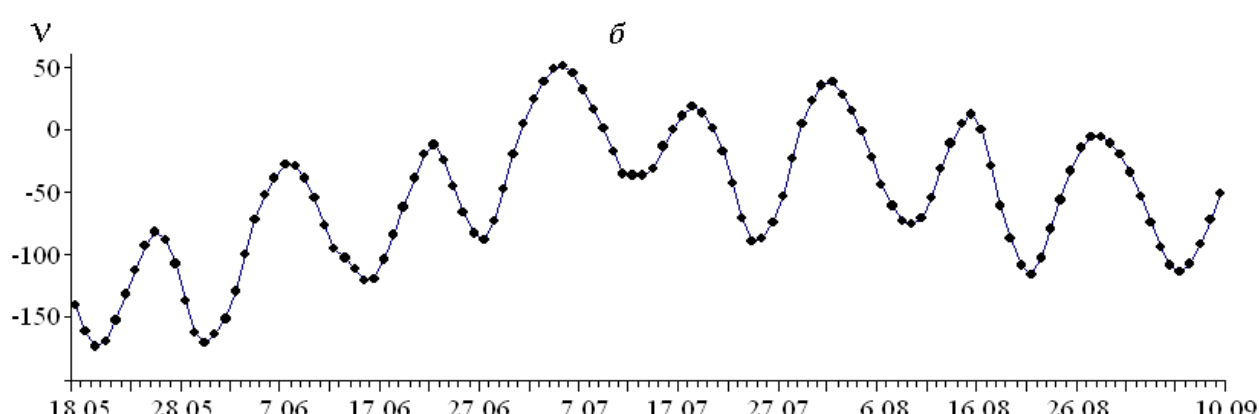
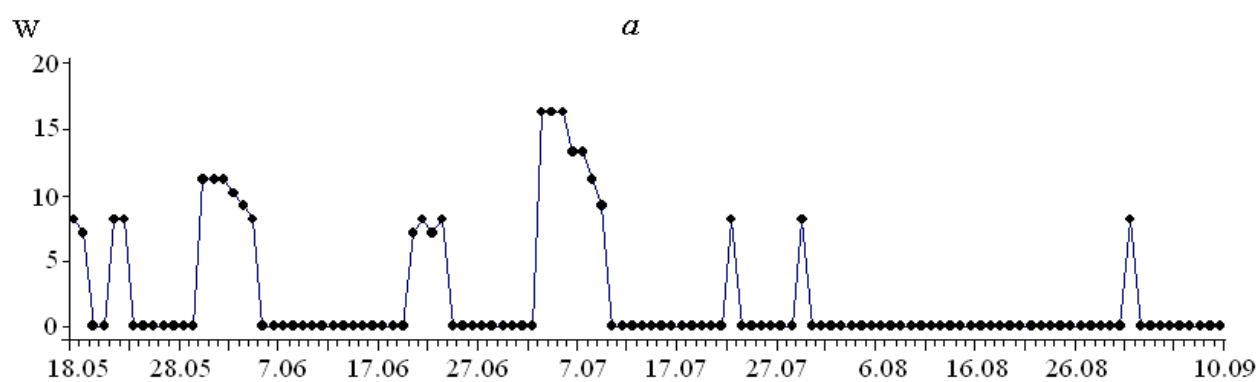


Рис. 3 Временные ряды солнечной активности (W) и скорости вращения Земли (v) в относительных единицах десятого знака соответственно (**а**, **б**) и вейвлет-диаграмма последней (**в**). Временной интервал: 18 мая — 10 сентября 2009 г. Частота дискретизации 1 сут.

Рис. 4. Вейвлет-диаграммы вариаций геомагнитного поля, интенсивности космических лучей, ЭТП-п и ЭТП-с за период 18.05—10.09 в диапазоне периодов 0—90 часов, соответственно **а—г**. Обозначения на рисунке: **1—3** — новолуние, полнолуние, рост солнечной активности соответственно.

Цетлин В.В., Аптикаева О.И. Ритмы природных процессов в вариациях электрических токов в межэлектродном промежутке

По мнению Н.С. Сидоренкова, приливные колебания скорости вращения Земли являются отличным индексом временных вариаций лунно-солнечных приливных сил, которые по механизму синхронизации формируют ритмическую структуру самых разных природных факторов, например, атмосферной циркуляции [Сидоренков 2002]. В рамках нашего исследования в некоторых случаях выявлено сходство динамики вариаций ЭТП, метеопараметров и скорости вращения Земли в диапазоне периодов от суток до месяца. На протяжении лунного месяца можно наблюдать четыре режима (ускорения и замедления) вращения Земли. Их продолжительность варьирует от 5 до 8 суток. Упомянутые выше временные интервалы, в пределах которых 5-тисуточный ритм в вариациях ЭТП-п трансформируется в 8-мисуточный, соотносятся с продолжительностью этих режимов. Аналогичная трансформация в вариациях ЭТП-с наблюдается в августе-сентябре, она также следует за изменением режима скорости вращения Земли.

Представляется интересным, как изменяется динамика суточного ритма рассматриваемых параметров в связи с подобными возмущениями (рис. 4). Как видно из рисунка, суточный ритм (в разной степени, но для каждого из параметров) становится менее выраженным или исчезает с вейвлет-диаграмм в период резкого роста солнечной активности 4–6 июля 2009 г. и последовавшего за этим полнолуния 7.07.09 г. Кроме того, часто суточный ритм ослабляется в период новолуний. Период 22.06–22.07.09 г., когда скорость вращения Земли была максимальной, также характеризуется аномальным уменьшением амплитуды суточного ритма геомагнитных вариаций. Таким образом, суточная динамика может обуславливаться как приливными возмущениями, так и резким изменением солнечной активности. И те и другие возмущения, как видно, приводят к уменьшению амплитуды суточного ритма до полного исчезновения с вейвлет-диаграмм.

Особенности сезонных вариаций ЭТП

Как известно, многие геофизические параметры испытывают сезонные вариации. В этой связи рассмотрим, как соотносятся параметры суточного ритма вариаций ЭТП, зарегистрированных зимой и летом. Рис. 5 демонстрирует динамику ЭТП в течение восьми суток зимой (4–11 декабря 2009) и летом (25.05–1.06.2009). Как видно из рисунка, амплитуды суточного ритма ЭТП зависят от времени года, летом они существенно выше. Период суточного ритма по результатам анализа структурной функцией составляет 24 часа и колеблется летом и зимой в диапазоне соответственно ±1.5% и 5%. На фоне слабо выраженного суточного ритма зимой хорошо видны более короткопериодные ритмы, например, полусуточный.

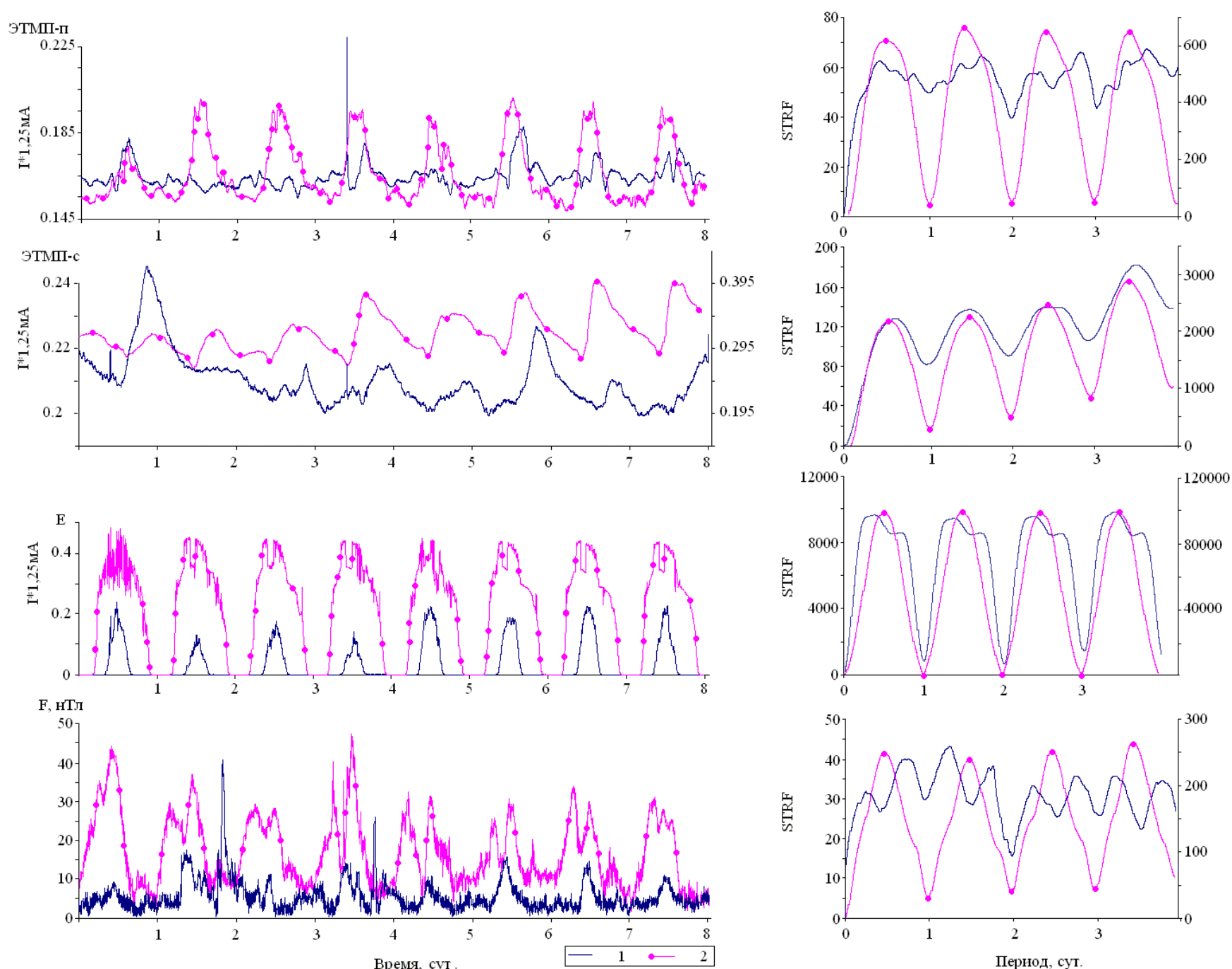


Рис.5. Результаты спектрального анализа вариаций ЭТП-п и ЭТП-с (а, б), освещенности (в) и геомагнитного поля (г) в течение восьми суток зимой 4–11.12.09 (1) и летом 25.05–1.06.09 (2). Временные ряды (левая колонка), графики структурных функций (правая колонка), оси ординат слева и справа соответствует временным интервалам 1 и 2. Частота дискретизации 1 мин.

Цетлин В.В./Аптикаева О.И. Ритмы природных процессов в вариациях электрических токов в межэлектродном промежутке

Такие же тенденции характерны для вариаций геомагнитного поля и освещенности — зимой амплитуда суточного ритма существенно меньше, чем летом. А в рядах геомагнитной активности видны соизмеримые с ним по амплитуде полусуточные ритмы. Отметим, что в структуре вариаций объемной активности радона тоже наблюдаются сезонные вариации — зимой суточные вариации практически отсутствуют [Аптикаева и др. 2010]. Выраженность суточного ритма ЭТП может зависеть, кроме прочего, и от суточных колебаний температуры. Зимой, когда суточные колебания температуры меньше (напомним, что эксперимент проводится в отапливаемом помещении), суточный ритм ЭТП (особенно ЭТП-п) выражен значительно хуже, чем в геомагнитных вариациях и вариациях освещенности.

Внутрисуточная динамика ЭТП-п и ЭТП-с. Как уже отмечалось, при измерениях электрических токов, протекающих в ячейках, помещенных в светонепроницаемые ящики, обнаружена суточная динамика электрических токов, измеренных одновременно в ячейках с электродами из стали и платины. В течение произвольно выбранных суток величина токов заметно варьирует (**рис. 6**). При этом отчетливо могут быть зафиксированы только моменты наступления экстремумов этих вариаций. Положительные экстремумы в вариациях ЭТП-п в 13—14 часов наилучшим образом совпадают с максимумами в вариациях температур и наступают примерно на 5 часов позже, чем максимумы вариаций геомагнитной активности. Отрицательные экстремумы в вариациях ЭТП-с в 6—11 час соответствуют максимумам объемной активности радона и максимумам вариаций геомагнитного поля. И все же, наиболее очевидным синхронизатором суточного ритма в вариациях ЭТП, на наш взгляд, являются вариации геомагнитного поля.

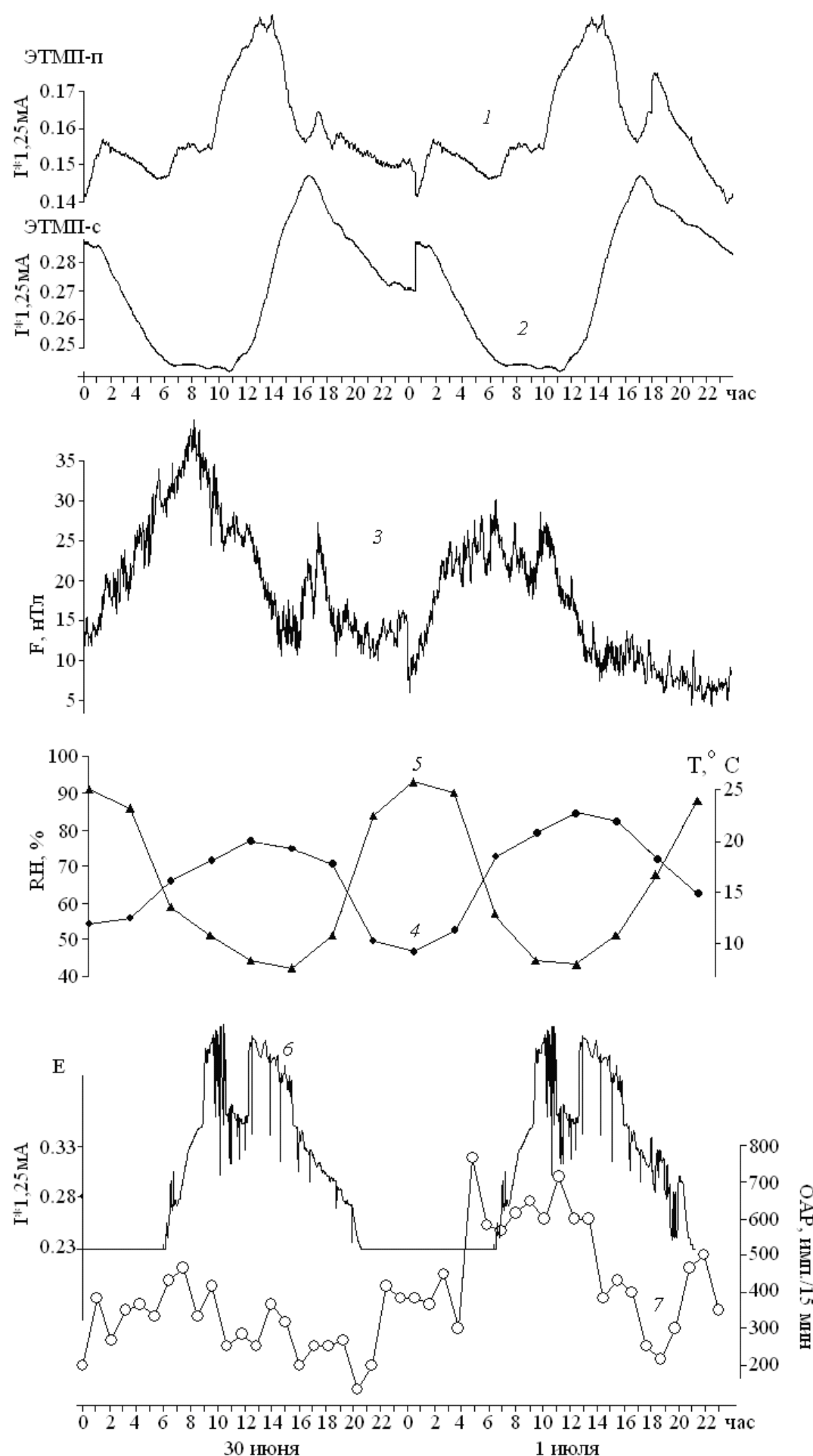


Рис. 6. Динамика вариаций ЭТП-п (1), ЭТП-с (2), геомагнитного поля (3), температуры воздуха (4), влажности (5), освещенности (6), и объемной активности радона (7) за 30.06—1.07.2009.

Цетлин В.В., Аптикаева О.И. Ритмы природных процессов в вариациях электрических токов в межэлектродном промежутке

Ритмическая структура вариаций ЭТП и в более широком спектральном диапазоне лучше всего коррелирует со структурой вариаций геомагнитного поля (**табл. 2**), но ее могут обуславливать и иные внешние факторы. При этом влияние ни одного из них нельзя признать абсолютным и единственным в течение всего периода наблюдений — для конкретного временного интервала (см. **табл. 2 а** и **б**) каждый из внешних факторов (или группа из нескольких факторов) могут быть определяющими. Ритмические компоненты в структуре вариаций ЭТП могут быть обусловлены как вариациями солнечной радиации, так и вариациями лунно-солнечной приливной энергии. При этом в разных диапазонах периодов и на разных временных отрезках соотношение этих компонент, по-видимому, разное.

Таблица 2

Коэффициенты взаимной корреляции структуры рассмотренных параметров с почасовым опросом за период 18.05—10.09 (а) и 30.06—20.07.09г. (б)

		E	OAP	F	I	Dst	
а	ЭТП-п	0,69	0,18	0,61	0,40	0,39	На уровне значимости 0.001 $R_{кр}=0.09$
	ЭТП -с	0,16	0,23	0,16	0,23	0,41	
б	ЭТП -п	0,94	0,13	0,84	0,31	0,14	На уровне значимости 0.001 $R_{кр}=0.14$
	ЭТП -с	0,72	0,25	0,80	0,73	0,48	

Заключение

Проведенный анализ ритмической структуры вариаций ЭТП позволяет, на наш взгляд, сделать вывод, что они могут быть результатом воздействия совокупности взаимообусловленных внешних факторов. Задачу выявления генезиса тех или иных вариаций ЭТП существенно затрудняет наличие взаимовлияния внешних факторов. Например: ритмическую структуру спокойных геомагнитных вариаций (наряду с преобладающей солнечно обусловленной компонентой) формируют и собственно атмосферные факторы; атмосферное давление и температура влияют на интенсивность космических лучей; с вариациями метеопараметров (более всего с атмосферным давлением и влажностью) в значительной степени связаны вариации объемной активности радона и т.д.

Наиболее вероятным механизмом воздействия этих процессов на динамику ЭТП, на наш взгляд, является вынужденная синхронизация колебаний. В нашем случае имеют место слабые периодические воздействия синхронизирующих осцилляторов, которые сами по себе могут быть недостаточными (подпороговыми) для того, чтобы вызвать отклик колебательной системы. Но энергия хаотических колебаний (шума) может подвести систему ЭТП к «критическому» состоянию, в результате чего в ее отклике как раз и проявятся периодичности, определяемые слабыми синхронизирующими осцилляторами.

Обнаруженные закономерности изменения электрических токов в воде во многом совпадают с результатами аналогичных исследований иных природных объектов. Некоторые из них уже упоминались. Но наиболее интересным в свете поставленной задачи представляется сходство реакции на внешние воздействия ЭТП и некоторых физиологических параметров здоровых людей [Аптикаева и др. 2009]. Например, в условиях возмущения внешних факторов (роста солнечной активности, резких изменений метеопараметров и пр.) системообразующий циркадианный ритм физиологических параметров, равно как и суточный ритм ЭТП в представляемой работе, ослабляется, становится нестабильным по амплитуде и периоду.

Это обстоятельство, как нам кажется, говорит о том, что такого рода исследования приближают нас к раскрытию механизма влияния гео- и гелио-физических факторов не только на свойства чистой воды, но и на свойства водной среды живых организмов.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Адушкин В.В., Спивак А.А. Геофизические процессы и межгеосферные взаимодействия в приповерхностной зоне Земли // Геофизика межгеосферных взаимодействий. М.: ГЕОС, 2008. С. 9—19.
2. Аптикаева О.И. Процедуры анализа временных рядов // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 4. Человек и три окружающие его среды. М.: Светоч Плюс, 2009. С. 306—312.
3. Аптикаева О.И., Гамбургцев А.Г., Степанова С.И. Вариации структуры биоритмов у здоровых людей // Геофизические процессы и биосфера. 2009. Т. 8. № 3. С. 17—25
4. Аптикаева О.И., Костенко К.А., Селюков Е.И., Стигнеева Л.Т., Черепанов О.А. К вопросу о возможности геодинамического мониторинга по эманациям радона // Вопросы инженерной сейсмологии. 2010. Т. 37. № 4. С. 51—65.
1. Adushkin V.V., Spivak A.A. (2008). Geofizicheskie protsessy i mezhgeosfernye vzaimodeistviya v pripoverkhnostnoi zone Zemli. In: Geofizika mezhgeosfernykh vzaimodeistvii. GEOS, Moskva. 2008. Pp. 9—19.
2. Aptikaeva O.I. (2009). Protsedury analiza vremennykh ryadov. In: Atlas vremennykh variatsii prirodnykh, antropogennykh i sotsial'nykh protsessov. T. 4. Chelovek i tri okruzhayushchie ego sredy. Svetoch Plyus, Moskva. 2009. Pp. 306—312.
3. Aptikaeva O.I., Gamburtsev A.G., Stepanova S.I. (2009). Variatsii struktury bioritmov u zdorovykh lyudei. Geofizicheskie protsessy i biosfera. T. 8. N 3. Pp. 17—25
4. Aptikaeva O.I., Kostenko K.A., Selyukov E.I., Stigneeva L.T., Cherepanov O.A. (2010). K voprosu o vozmozhnosti geodinamicheskogo monitoringa po emanatsiyam radona. Voprosy inzhenernoi seismologii. T. 37. N 4. Pp. 51—65.

Цетлин В.В., Аптикаева О.И. Ритмы природных процессов в вариациях электрических токов в межэлектродном промежутке

5. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 2. Циклическая динамика в природе и обществе. М.: Научный мир, 1998. 430 с.
6. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 3. Природные и социальные сферы как части окружающей среды и как объекты воздействий. М.: Янус-К, 2002. 652 с.
7. Беляков А.С., Кузнецов В.В., Николаев А.В. Акустическая эмиссия в верхней части земной коры // Физика Земли. 1991. № 10. С. 79—84.
8. Беляков А.С., Лавров В.С., Николаев А.В., Худзинский Л.Л. О вариациях фонового подземного звука // Докл. РАН. 1996. Т. 348. № 3. С. 383—386.
9. Беляков А.С., Лавров В.С., Николаев А.В., Худзинский Л.Л. О синхронизации сейсмоакустической эмиссии с деформацией верхней части земной коры // Докл. РАН. 2006. Т. 406. № 5. С. 687
10. Беляков А.С., Лавров В.С., Николаев А.В., Худзинский Л.Л. Подземный фоновый звук и его связь с приливными деформациями // Физика Земли. 1999. № 12. С. 39—46.
11. Гаврилов В.А., Морозова Ю.В., Сторчеус А.В. Вариации уровня геоакустической эмиссии в глубокой скважине Г-1 (Камчатка) и их связь с сейсмической активностью // Вулканология и сейсмология. 2006. № 1. С. 52—67.
12. Жаров В.Е. Вращение Земли и шкалы времени // Наука в России. 2005. № 1(145). С. 4—9.
13. Журавлев В.И., Лукк А.А., Мирзоев К.М., Сычев Н.А. Суточная периодичность слабых землетрясений Средней Азии // Физика Земли. 2006. № 11. С. 29—43.
14. Журавлев В.И., Сидорин А.Я. Высокодобротные экстремумы в спектрах сейсмичности разных регионов мира // Докл. РАН. 2006. Т. 407. № 2. С. 252—257.
15. Захарьевский М.С. Оксредметрия. Л.: Химия, 1967. 118 с.
16. Кишкина С.Б. Измерение наклонов земной поверхности на территории ГФО «Михнево» // Геофизика межгеосферных взаимодействий. М.: ГЕОС, 2008. С. 57—64
17. Оше А.И., Урусов К.Х. Электрохимическая модель метаболизма // Электромагнитные поля в биосфере. М.: Наука, 1984. Т. II. С. 133—140.
18. Сидоренков Н.С. Атмосферные процессы и вращение Земли. СПб: Гидрометеиздат, 2002. 366 с.
19. Сидорин А.Я. Полуденный эффект во временных рядах землетрясений и сейсмического шума // Докл. РАН. 2005. Т. 402. № 6. С. 822—827.
20. Цетлин В.В., Артамонов А.А., Бондаренко В.А., Федотова И.В. О временных вариациях токов проводимости воды в электрохимической ячейке // Солнечно-земная физика. 2008. Т. 2. С. 361—363.
21. Цетлин В.В. Исследование реакции воды на вариации космофизических и геофизических факторов окружающего пространства // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2010. № 6. С. 26—31
22. Цетлин В.В., Зенин С.В., Лебедева Н.Е. Механизм воздействия сверхслабых доз ионизирующего излучения на водную среду // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2005. № 6. С. 53—58.
23. Цетлин В.В., Зенин С.В., Головкина Т.В., Дешевая Е.А., Краснова Л.Б., Лебедева Н.Е., Шигин А.И. О роли водной среды в механизме действия сверхслабых излучений // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2003. № 12. С. 20—25.
24. Шулейкин В.Н. Вариации элементов приземного атмосферного электричества перед сейсмическими событиями — причины, формы масштабы проявления // Геофизика XXI столетия: 2002. М.: Научный мир, 2003. С. 396—404.
5. Atlas vremennykh variatsii prirodnykh, antropogennykh i sotsial'nykh protsessov. T. 2. Tsiklicheskaya dinamika v prirode i obshchestve. Nauchnyi mir, Moskva 1998. 430 p.
6. Atlas vremennykh variatsii prirodnykh, antropogennykh i sotsial'nykh protsessov. T. 3. Prirodnye i sotsial'nye sfery kak chasti okruzhayushchei sredy i kak ob"ekty vozdeistvii. Yanus-K, Moskva. 2002. 652 p.
7. Belyakov A.S., Kuznetsov V.V., Nikolaev A.V. (1991). Akusticheskaya emissiya v verkhnei chasti zemnoi kory. Fizika Zemli. N 10. Pp. 79—84.
8. Belyakov A.S., Lavrov V.S., Nikolaev A.V., Khudzinskii L.L. (1996). O variatsiyakh fonovogo podzemnogo zvuka // Dokl. RAN. 1996. T. 348. N 3. S. 383—386.
9. Belyakov A.S., Lavrov V.S., Nikolaev A.V., Khudzinskii L.L. (2006). O sinkhronizatsii seismoakusticheskoi emissii s deformatsiei verkhnei chasti zemnoi kory. Dokl. RAN. T. 406. N 5. P. 687
10. Belyakov A.S., Lavrov V.S., Nikolaev A.V., Khudzinskii L.L. (1999). Podzemnyi fonovyi zvuk i ego svyaz' s prilivnymi deformatsiyami. Fizika Zemli. N 12. Pp. 39—46.
11. Gavrilov V.A., Morozova Yu.V., Storcheus A.V. (2006). Variatsii urovnya geoakusticheskoi emissii v glubokoi skvazhine G-1 (Kamchatka) i ikh svyaz' s seismicheskoi aktivnost'yu. Vulkanologiya i seismologiya. N 1. Pp. 52—67.
12. Zharov V.E. (2005). Vrashchenie Zemli i shkaly vremeni. Nauka v Rossii. N 1(145). Pp. 4—9.
13. Zhuravlev V.I., Lukk A.A., Mirzoev K.M., Sychev N.A. (2006). Sutochnaya periodichnost' slabykh zemletryaseni Srednei Azii. Fizika Zemli. N 11. Pp. 29—43.
14. Zhuravlev V.I., Sidorin A.Ya. (2006). Vysokodobrotnye ekstremumy v spektrakh seismichnosti raznykh regionov mira. Dokl. RAN. T. 407. N 2. Pp. 252—257.
15. Zakhar'evskii M.S. (1967). Oksredmetriya. Khimiya, Leningrad. 118 p.
16. Kishkina S.B. (2008). Izmerenie naklonov zemnoi poverkhnosti na territorii GFO «Mikhnevo». In: Geofizika mezhgeosfernykh vzaimodeistvii. GEOS, 2008. Pp. 57—64
17. Oshe A.I., Urusov K.Kh. (1984). Elektrokhimicheskaya model' metabolizma. In: Elektromagnitnye polya v biosfere. Nauka, Moskva. 1984. T. II. Pp. 133—140.
18. Sidorenkov N.S. (2002). Atmosfernye protsessy i vrashchenie Zemli. Gidrometeoizdat, S-Peterburg. 366 p.
19. Sidorin A.Ya. Poludennyi effekt vo vremennykh ryadakh zemletryaseni i seismicheskogo shuma // Dokl. RAN. 2005. T. 402. N 6. S. 822—827.
20. Tsetlin V.V., Artamonov A.A., Bondarenko V.A., Fedotova I.V. (2008). O vremennykh variatsiyakh tokov provodimosti vody v elektrokhimicheskoi yacheike. Solnechno-zemnaya fizika. T. 2. Pp. 361—363.
21. Tsetlin V.V. (2010). Issledovanie reaktcii vody na variatsii kosmofizicheskikh i geofizicheskikh faktorov okruzhayushchego prostranstva. Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. N 6. Pp. 26—31.
22. Tsetlin V.V., Zenin S.V., Lebedeva N.E. (2005). Mekhanizm vozdeistviya sverkhslabykh doz ioniziruyushchego izlucheniya na vodnuyu sredu. Biomeditsinskie tekhnologii i radioelektronika. N 6. Pp. 53—58.
23. Tsetlin V.V., Zenin S.V., Golovkina T.V., Deshevaya E.A., Krasnova L.B., Lebedeva N.E., Shigin A.I. (2003). O roli vodnoi sredy v mekhanizme deistviya sverkhslabykh izlucheni. Biomeditsinskie tekhnologii i radioelektronika. N 12. Pp. 20—25.
24. Shuleikin V.N. (2003). Variatsii elementov prizemnogo atmosfernogo elektrichestva pered seismicheskimi sobyitiyami — prichiny, formy masshtaby proyavleniya. In: Geofizika XXI stoletiya: 2002. Nauchnyi mir, Moskva. 2003. Pp. 396—404.

CYCLES OF NATURAL PROCESSES IN THE WATER CURRENT VARIATIONS

Vladimir V. Tsetlin, Doctor of Technical Sciences Head of Laboratory at the Institute of Biomedical Problems
E-mail: v_tsetlin@mail.ru

Olga I. Aptikaeva, PhD (Physics and Mathematics), Leading Researcher at the RAS O.Yu. Schmidt Institute of Physics of the Earth (IPE)
E-mail: aptikaevaoui@mail.ru

Our investigations conducted in recent years indicate that there are daily variations of electric current in the pure water filling an electrochemical cell. In this paper, we consider its quasi-periodic variations from 1 minute till 1 month. We suppose that the structure these variations can be affected by rhythmic and non-rhythmic variations in environmental factors (for example, solar and geomagnetic activities or meteorological factors). We trace the synchronism and correlation in the dynamics the electric current and the some natural factors using a correlation analysis, a Fourier analysis, wavelet analysis, and structural function for their time series at the same time. The combined use different methods of the time-spectral analysis make it possible to more reliably reveal the rhythmic composition of a given series and localize the moments in time of their structural realignment.

Our investigations show that revealed rhythmic (with the periods of 8 h, 12 h, 1 day, ~5 days, ~7 days and 2 week) and non-rhythmic variations can be caused by natural electromagnetic radiation and controlled by both solar radiation and lunar-solar tidal energy. Evidently synchronizing influence on electric current variations one or another factor according to specific rhythmic range.

Keywords: electric current in pure water, electromagnetic radiation, biorhythms, geodynamics, spectral temporal analysis.