Сезонные вариации глобальной сейсмической активности Земли (САЗ) в 19-25 циклах солнечной активности и перспективы ее эмпирического прогноза

Хегай В. В., Легенька А. Д.

ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия

hegai@izmiran.ru

Проведен анализ сейсмической активности земли (САЗ) с 1957 по 2022 год (66 лет) для выявления сезонной зависимости в величине ее интенсивности. В качестве исходной меры глобальной интенсивности САЗ при ее анализе было выбрано суммарное число сильных (магнитуда $M \geq 5.0$) коровых (глубина гипоцентра $0 \leq h \leq 60$ км) землетрясений по всему миру, зарегистрированных в каталоге USGS за все указанные годы (для каждого из индивидуальных месяцев по отдельности) для всех сезонов. Обнаружено существенное отличие медианной оценки интенсивности САЗ в разные месяцы от усредненной оценки, полученной методом «наложения эпох», когда начало «эпохи» соответствует январю, а ее окончание - декабрю. Согласно медианной оценке, максимум САЗ приходится на конец осеннего и начало зимнего сезонов (ноябрь, декабрь), а минимум САЗ – на середину и конец весеннего сезона (апрель, май). Обсуждается возможность построения эмпирического прогноза САЗ.

Оценка сейсмической активности Земли (САЗ) может быть произведена различным образом. Так, в работе [Шестопалов и Харин, 2004], проводится оценка по величине выделяющейся при землетрясении энергии в зависимости от его магнитуды. В статьях [Барляева и др., 2000; Хегай и др., 2022] в качестве количественной меры САЗ выступает суммарное число землетрясений за нужный выбранный временной интервал (год), превышающих по магнитуде (M) некоторый заданный уровень, N_EQ/Year(M ≥ 7.0) и N_EQ/Year(M ≥ 5.0) в первой и второй из перечисленных работ соответственно.

В проведенном же ниже исследовании в качестве основы используется аналогичная суммарная величина, однако, на месячном интервале N_EQ/Month(M ≥ 5.0), определяющая число сильных (с магнитудой M ≥ 5.0) коровых (глубина гипоцентра 0 ≤ h ≤ 60 км) землетрясений в соответствующем месяце нужного года, например,

N_EQ/Jan1957(M ≥ 5.0).

Тогда, соответствующие частоты землетрясений в сутки для каждого из месяцев года запишутся следующим образом

$$\nu(Jan) \equiv N_{EQ/Jan(M \geq 5.0)}/31, \ldots, \nu(Dec) \equiv N_{EQ/Dec(M \geq 5.0)}/31$$

Эти величины и будут характеризовать интенсивность САЗ по сезонам (и помесячно!) в изучаемом интервале лет, при этом размерность этих частот определяется как число землетрясений/сутки ≡ ЗТ/сут. Для 16 високосных годов на этом интервале 66 лет для получения нужной частоты в феврале нормировка изменяется с 28 на 29 дней.

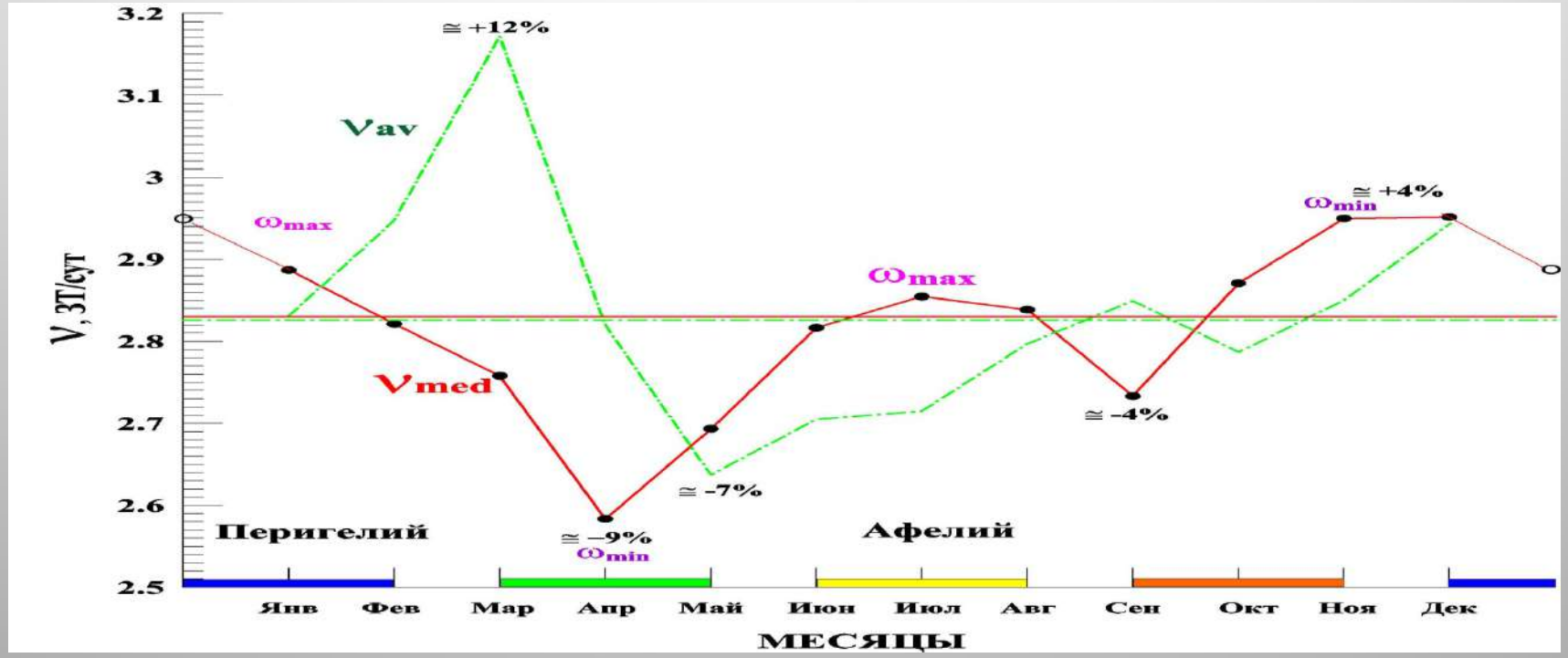
В работе использованы данные по землетрясениям, которые получены из каталога Национального Центра информации о землетрясениях Геологической службы США (NEIC, USGS [https://www.usgs.gov/]).

В таком случае, опорной величиной для каждого месяца за изучаемый интервал с 1957 г. по 2022 г. (66 лет, 19-25 циклы солнечной активности) будет служить соответствующая сумма, нормированная на 66 лет, т. е. среднее:

$$\nu(\mathrm{Jan})_{av} = [\nu_{Jan1957} + \ldots + \nu_{Jan2022}]/66, \qquad (1)$$

или, медиана:

$$\nu(\mathrm{Jan})_{med} = \mathrm{MED}[\nu_{Jan1957}, \ldots, \nu_{Jan2022}] \qquad (2)$$



Из рисунка хорошо видно, что медианная и усредненная (наложение «эпох») вариации существенно различаются, хотя медианы ν_{av} и ν_{med} за 12 месяцев (прямые штрихпунктирная и сплошная) очень близки (различие менее чем 0.16%). Размах для ν_{av} составляет 19% а для ν_{med} 13%. Более детальный анализ данных показал, что большие различия для марта месяца (и менее ярко для других) связаны с тем, что крупные события (землетрясения с большой магнитудой, $M \geq 8.0$) вызывают большие «рои» менее сильных землетрясений. Так, землетрясение 11 марта 2011 г. (M = 9.1 Япония, Фукусима) привело к тому, что в этом месяце произошло 665 землетрясений с $M \geq 5.0$ (при медианной величине 85 ЗТ для всех мартовских землетрясений за 66 лет), по числу которых нами и оценивается САЗ

В исследованиях [Левин и Сасорова, 2017; Levin et al., 2017], проведенных на очень длительном интервале лет (296), полагается, что изменение параметров фигуры Земли при изменении скорости ее вращения приводит к изменению степени сжатия небесного тела и его экваториального и полярного радиусов. Вследствие увеличения степени сжатия планеты при увеличении скорости его вращения может *уменьшаться напряжение между литосферными плитами* и, соответственно, должна уменьшаться степень САЗ. При уменьшении скорости вращения, наоборот, степень сжатия уменьшается, уменьшается площадь поверхности и расстояние между плитовыми структурами, что может вызывать *увеличение напряжения сжатия* в твердой оболочке планеты и САЗ возрастает.

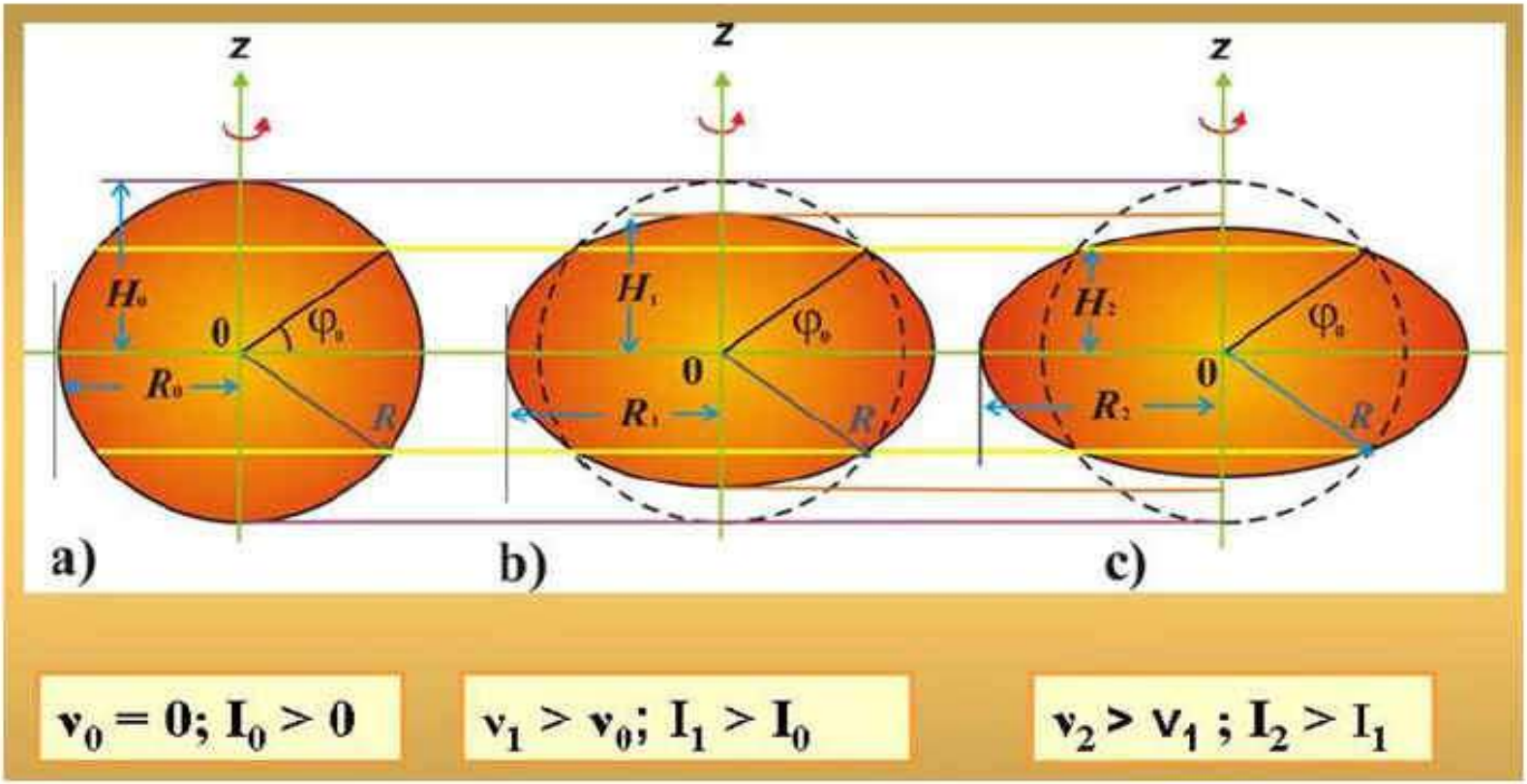
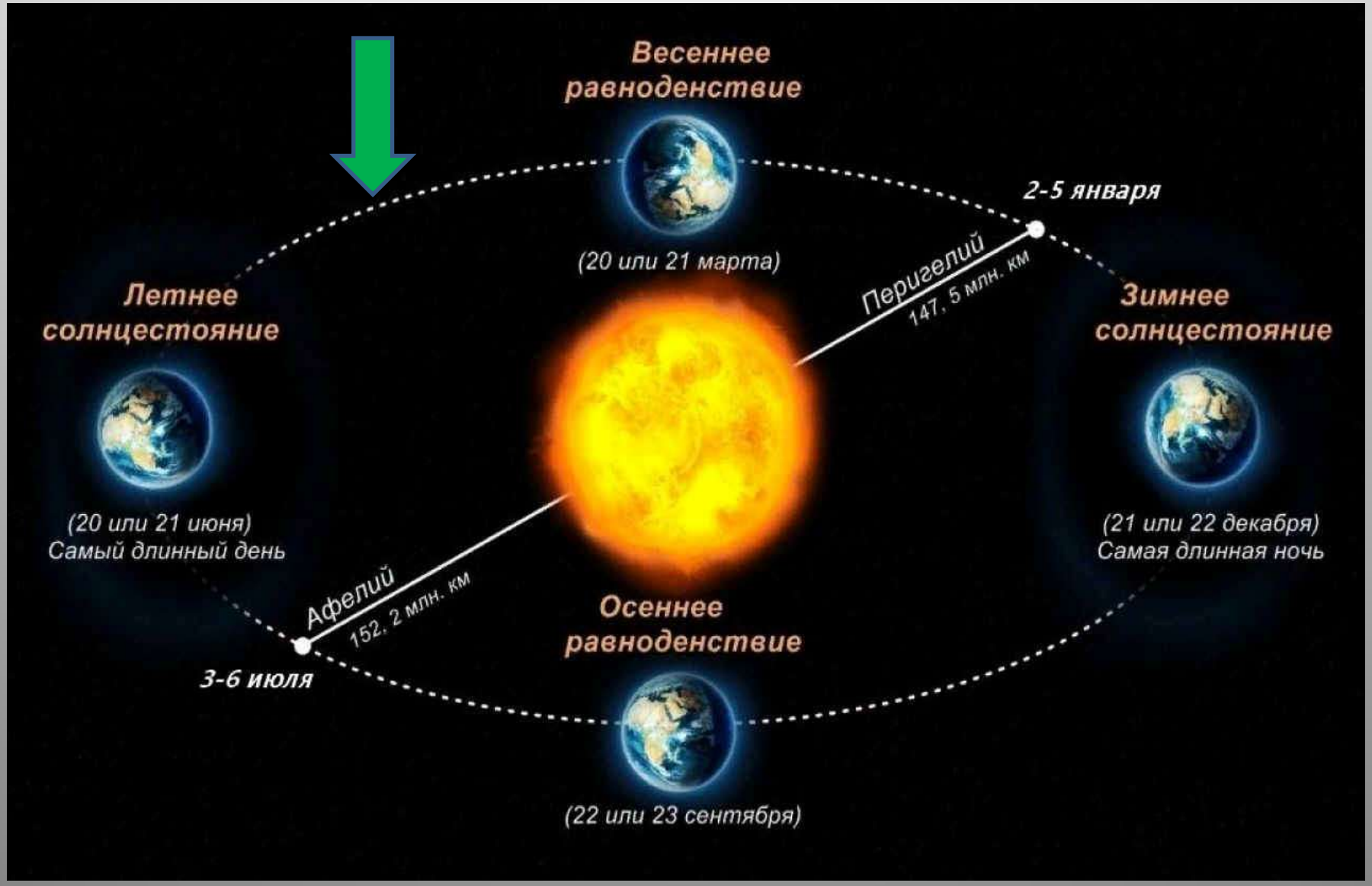
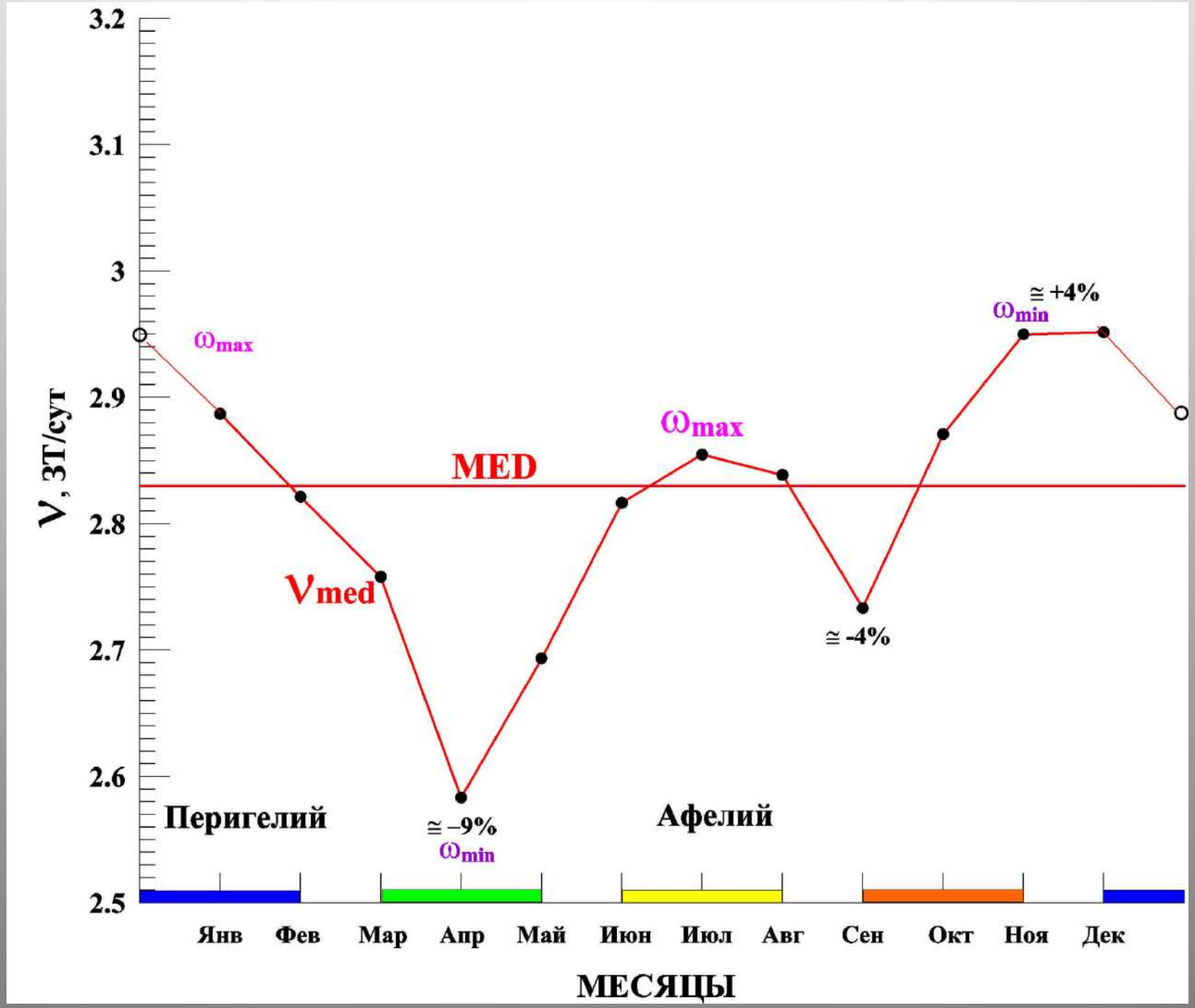


Рис. 24. Схема изменения степени сжатия ε небесного тела, увеличения экваториальных радиусов R и уменьшения полярных радиусов H для трех значений угловой скорости ($\nu_2 > \nu_1 > \nu_0$).

С другой стороны, следует отметить, что, как указано в монографии [Магницкий, 2006] : «Хотя землетрясения вызываются явно тектонической деятельностью Земли, тем не менее, делаются многочисленные попытки установить связь между ними и другими явлениями. В настоящее время наибольшего внимания заслуживает связь числа землетрясений с годичным обращением Земли вокруг Солнца. Из всех других зависимостей эта связь проявляется статистически с наибольшей надежностью. Однако природа такой связи, если она действительно есть, остается совершенно неясной».


Весеннее равноденствие
(20 или 21 марта)
2-5 января
Перигелий
147, 5 млн. км
Летнее солнцестояние
(20 или 21 июня)
Самый длинный день
Зимнее солнцестояние
(21 или 22 декабря)
Самая длинная ночь
Афелий
152, 2 млн. км
3-6 июля
Осеннее равноденствие
(22 или 23 сентября)

В соответствии приведенными выше ОБОИМИ соображениями, проанализируем поведение ν_{med}. Основной максимум частоты ν_{med} в ноябре и декабре приходится на период, когда скорость вращения Земли при движении к точке перигелия близка к минимуму. В афелии (июль) наблюдается основной максимум скорости вращения земли, которая существенно выше другого, январского в перигелии, а июльский максимум ν_{med} близок к годовой медиане (САЗ частично подавлена). В апреле наблюдается очередной минимум скорости вращения Земли {ω_{min}(апрель)} и САЗ должна возрастать, но именно в апреле ν_{med} минимальна. Однако, оказывается, что в этот период времени Земля находится точно в срединной точке орбиты между афелием и перигелием и, возможно, этот факт оказывает более сильное влияние, эффективно уменьшая САЗ. Второй, менее значительный минимум в САЗ наблюдается в сентябре, когда Земля находится в двух месяцах пути от пройденного афелия и в четырех месяцах пути до достижения перигелия.


3.2
3.1
3
2.9
2.8
2.7
2.6
2.5
V, ЗТ/сут
ωmax
MED
ωmax
≅ +4%
ωmin
νmed
≅ -4%
≅ –9%
ωmin
Перигелий
Афелий
Янв
Фев
Мар
Апр
Май
Июн
Июл
Авг
Сен
Окт
Ноя
Дек
МЕСЯЦЫ

Так как полученная за 66 лет медианная зависимость является устойчивой, она может быть использована для прогнозирования глобальной интенсивности САЗ в сезоне и легко скорректирована для каждого последующего года (начиная с 2023), кроме этого появляется возможность прогнозирования такой зависимости в любом конкретно заданном регионе, с использованием нужных каталогов землетрясений.

2023 г.	Число ЗТ, M ≥ 5. 0	ПРОГНОЗ (медиана)	δ, %
Январь	108	90	-17
Февраль	127	79	-38
Март	94	86	-9
Апрель	96	80	-17

Выводы

1. Проведен анализ сейсмической активности земли (САЗ) с 1957 по 2022 г. (66 лет) для выявления сезонной зависимости в величине ее интенсивности. Обнаружено существенное отличие медианной оценки интенсивности САЗ в разные месяцы от усредненной оценки, полученной методом «наложения эпох». Согласно медианной оценке, максимум САЗ приходится на конец осеннего и начало зимнего сезонов (ноябрь, декабрь), а минимум САЗ – на середину и конец весеннего сезона (апрель, май). Рассмотрены возможные физические причины сезонной зависимости интенсивности САЗ.

2. Показано, что примененная в исследовании методика может быть использована для глобального эмпирического сезонного прогнозирования САЗ.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

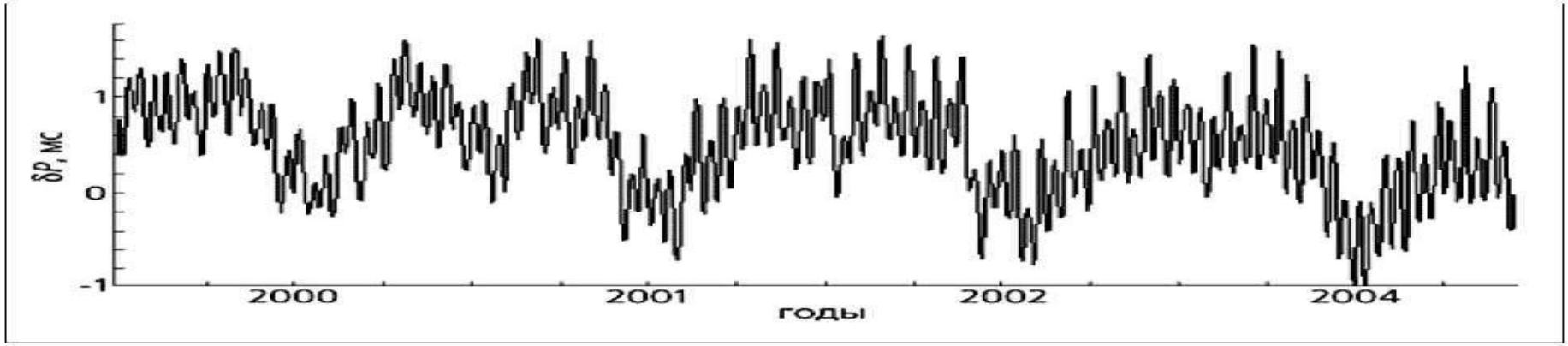


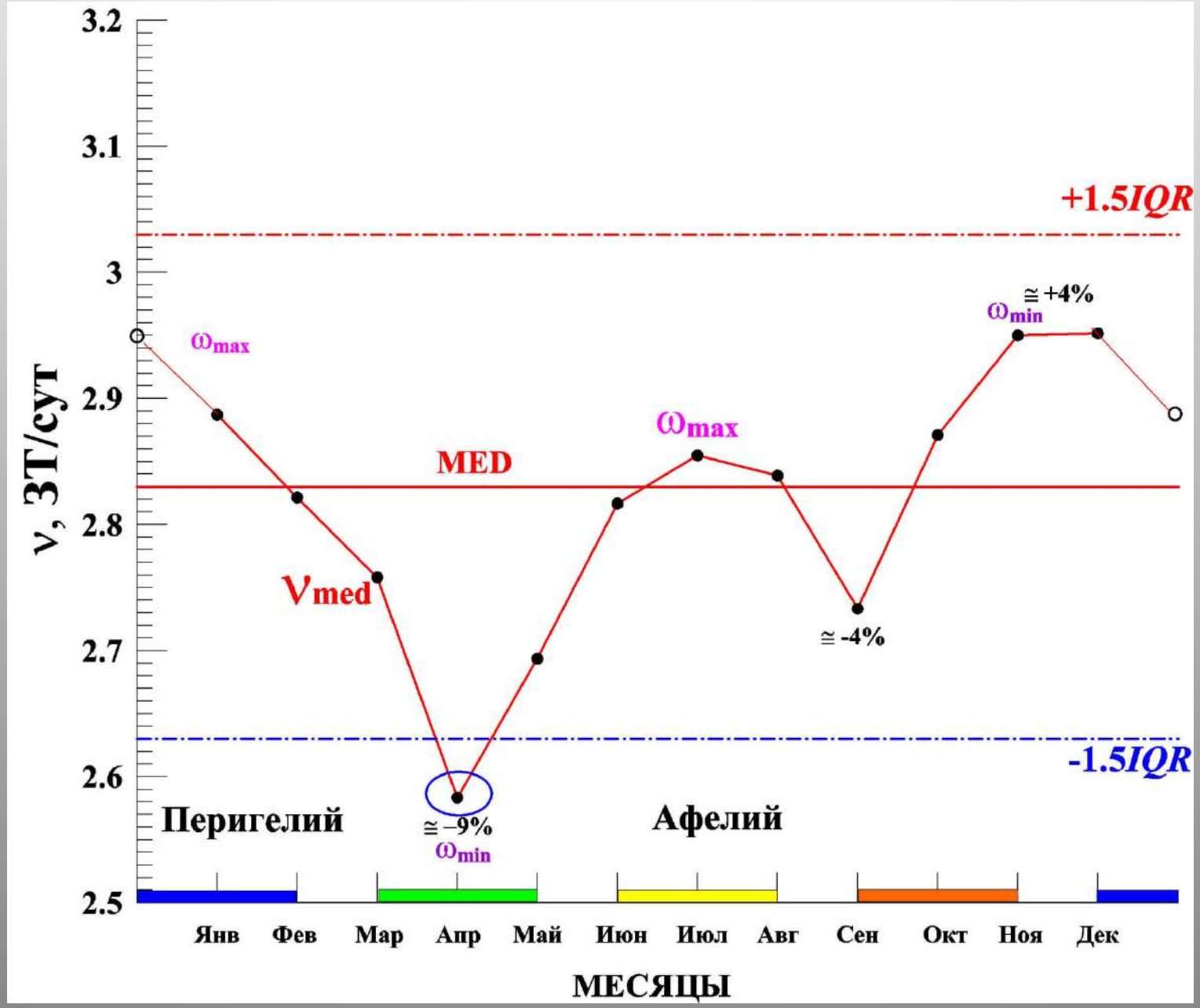
Рис. 3. Ход отклонений длительности суток δP в 2000-2003 гг. с дискретностью в одни сутки. Здесь, помимо сезонных изменений, обусловленных гидрометеорологическими процессами, хорошо видны приливные колебания скорости вращения Земли. По величине размаха они немного уступают сезонным колебаниям, но их периоды в десятки раз короче сезонных – близки к 14 сут.

Из работы Сидоренков Н. С. Межгодовые колебания системы атмосфера-океан-Земля // Природа. №8. С. 1-17. 2004.

Разность между минимальным отклонением длительности земных суток от эталонных в июле и максимальным в апреле или ноябре составляет 0.001 с. Сезонные колебания обычно описываются суммой годовой и полугодовой гармоник, амплитуды и фазы которых меняются от года к году. Амплитуда годовой гармоники имеет характерное время изменения около шести, а полугодовой - около двух лет. Средняя величина амплитуд годовой и полугодовой гармоник равна соответственно, $0.35 \cdot 10^{-3}$ сек и $0.32 \cdot 10^{-3}$ сек.

Длительность эталонных суток

P = 86400 сек


3.2
3.1
3
2.9
2.8
2.7
2.6
2.5
ν, ЗТ/сут
+1.5IQR
-1.5IQR
MED
ωmax
ωmax
ωmin
≅ +4%
νmed
≅ -4%
≅ –9%
ωmin
Перигелий
Афелий
Янв
Фев
Мар
Апр
Май
Июн
Июл
Авг
Сен
Окт
Ноя
Дек
МЕСЯЦЫ