



Сезонные вариации парциальной плотности кислорода в различных климатических поясах

О.Н. Рагозин^{1, 2}, И.В. Радыш³, Л. Мутэло⁴, Е.Ю. Шаламова¹,
А.Б. Гудков⁵, Э.Р. Рагозина¹, И.А. Погонышева²

¹ Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, Ханты-Мансийск, Россия;

² Нижневартковский государственный университет, Нижневартковск, Россия;

³ Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, Москва, Россия;

⁴ Университет Лимпопо, Полокване, Южно-Африканская Республика;

⁵ Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В настоящее время растёт озабоченность учёных изменением содержания кислорода в приземном слое воздуха. Существуют классификации погод, где определяющим метеотропным воздействием, влияющим на здоровье человека, является величина парциальной плотности кислорода. Однако эти типы погоды не учитывают состояние гипероксии, хотя есть данные о негативном воздействии на здоровье человека высокого содержания кислорода во вдыхаемом воздухе. Представляется актуальным оценить сочетание периодических и аperiodических компонентов погодных факторов и их внутригодовые вариации в различных климатических поясах и определить их вклад в формирование сезонных ритмов парциальной плотности кислорода.

Цель. Оценить вклад погодных факторов субарктического и субтропического климатических поясов в сезонную динамику парциальной плотности кислорода в атмосферном воздухе.

Материалы и методы. Для математического анализа изменений погоды применён вейвлет-анализ. Анализ сигналов производили в плоскости wavelet-коэффициентов (масштаб–время–уровень). Статистическую значимость ритмов оценивали путём многократной (5000) случайной перестановки уровней исходного временного ряда.

Результаты. В субарктическом регионе годовой ритм парциальной плотности кислорода модулируется вставочными внутригодовыми колебаниями погодных факторов; в субтропиках вариabельность парциальной плотности кислорода определяется постоянными низкоамплитудными ритмами этих же факторов. Население Севера испытывает воздействие гипероксии в течение пяти зимних месяцев и гипоксии — летом. В провинции Лимпопо (ЮАР) в течение влажного сезона (с ноября по май) наблюдается гипоксия, которая в соответствии с медицинской классификацией погоды требует медицинского контроля.

Заключение. С учётом аperiodических составляющих в динамике погодных факторов в математической обработке данных необходимо применение методов, которые оценивают изменения спектрального состава временного ряда со временем. Медицинские классификации погод рекомендуем дополнить такими пунктами, как «гипероксический день» и «гипероксический» тип погоды.

Ключевые слова: экстремальные погодные условия; кислород; гипоксия; гипероксия; Север.

Как цитировать:

Рагозин О.Н., Радыш И.В., Мутэло Л., Шаламова Е.Ю., Гудков А.Б., Рагозина Э.Р., Погонышева И.А. Сезонные вариации парциальной плотности кислорода в различных климатических поясах // Экология человека. 2024. Т. 31, № 9. С. 692–700. DOI: 10.17816/humeco643447 EDN: ILNNPU

The contribution of weather factors to seasonal variations in oxygen partial density in different climatic zones

Oleg N. Ragozin^{1, 2}, Ivan V. Radysh³, Livhuwani Muthelo⁴, Elena Yu. Shalamova¹, Andrei B. Gudkov⁵, Elina R. Ragozina¹, Irina A. Pogonysheva²

¹ Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia;

² Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia;

³ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia;

⁴ University of Limpopo, Polokwane, South Africa;

⁵ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Currently, there is growing concern about changes in the oxygen content in the surface air layer. There are weather classifications where the determining meteorotropic effect affecting human health is the value of oxygen partial density, but among these types of weather, hyperoxia situations are not considered, although in a number of studies attention has been drawn to the negative impact on human health of high oxygen content in inhaled air. Taking into account the combination of periodic and aperiodic components of weather factors, it seems relevant to assess their intraannual variations in different climatic zones and determine their contribution to the formation of seasonal rhythms of partial oxygen density.

AIM: To assess the contribution of weather factors of the subarctic and subtropical climatic zones to the seasonal dynamics of the partial oxygen density in the atmospheric air.

MATERIALS AND METHODS: Wavelet analysis was used for mathematical analysis of weather changes. Signal analysis was performed in the plane of wavelet coefficients (scale–time–level). The statistical significance of rhythms was estimated by multiple (5000) random permutations of the levels of the original time series.

RESULTS: In the Subarctic region, the annual rhythm of partial oxygen density is modulated by the insertion intra-annual rhythms of weather factors, in the subtropics, the rhythm of partial oxygen density is determined by constant low-amplitude rhythms of weather factors. The population of the North is exposed to hyperoxia during the five winter months and hypoxia in the summer. In the Limpopo province of South Africa, hypoxia occurs during the wet season (November to May), which, according to the medical weather classification, requires medical supervision.

CONCLUSION: Considering the presence of aperiodic components in the dynamics of weather factors, mathematical data processing requires the use of methods that evaluate changes in the spectral composition of a time series over time. We recommend supplementing medical weather classifications with such items as "hyperoxic day" and "hyperoxic" weather type.

Keywords: extremeweather; oxygen; hypoxia; hyperoxia; North.

To cite this article:

Ragozin ON, Radysh IV, Muthelo L, Shalamova EYu, Gudkov AB, Ragozina ER, Pogonysheva IA. The contribution of weather factors to seasonal variations in oxygen partial density in different climatic zones. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(9):692–700. DOI: 10.17816/humeco643447 EDN: ILNNPU

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643447>

EDN: ILNNPU

不同气候带内局部氧气密度的季节变化

Oleg N. Ragozin^{1,2}, Ivan V. Radysh³, Livhuwani Muthelo⁴, Elena Yu. Shalamova¹,
Andrei B. Gudkov⁵, Elina R. Ragozina¹, Irina A. Pogonysheva²

¹ Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia;

² Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia;

³ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia;

⁴ University of Limpopo, Polokwane, South Africa;

⁵ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

摘要

论证。当前，科学家们对地球近地面大气层中氧气含量的变化感到日益担忧。在一些天气分类中，影响人类健康的决定性气象效应是局部氧气密度值。尽管有证据表明吸入空气中的高浓度氧气会对健康产生不利影响，但是，这些类型的天气并不算是高氧条件。评价气候因素中的周期性和非周期性成分的组合及其在不同气候带内的年内变化，并确定这些因素对形成季节性局部氧气密度节律的贡献，显然是迫切的需求。

目的。评估亚北极气候区和亚热带气候区的气象因素对大气空气中局部氧气浓度季节动态变化的贡献。

材料和方法。应用小波分析法对气候变化进行数学分析。信号分析在小波系数的平面（尺度-时间-等级）中进行。通过在原始时间序列水平上的多次（5000）随机排列评估了节律的统计意义。

结果。在亚北极地区，局部氧密度的年节律受气候因素的插入式年内波动调节；在亚热带地区，局部氧密度的变化由这些因素的恒定低幅节律决定。北方的居民在冬季的五个月里会受到多氧症的影响，而在夏季则会受到少氧症的影响。在南非林波波省，根据天气的医学分类，需要医学监测，在潮湿季（11月至5月）会出现低氧症。

结论。考虑到气候因素动态中的非周期成分，在数学数据处理中必须应用的方法，应能够评估时间序列的频谱成分随时间的变化。我们建议在天气的医学分类中增加“多氧日”和“多氧”天气类型等项目。

关键词： 极端天气条件；氧气；低氧症；多氧症；北方。

引用本文：

Ragozin ON, Radysh IV, Muthelo L, Shalamova EYu, Gudkov AB, Ragozina ER, Pogonysheva IA. 不同气候带内局部氧气密度的季节变化. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(9):692–700. DOI: 10.17816/humeco643447 EDN: ILNNPU

收到: 26.12.2024

接受: 26.02.2025

发布日期: 18.03.2025

ОБОСНОВАНИЕ

На организм человека оказывают влияние множество погодных и геофизических факторов, основными из которых являются температура, влажность, атмосферное давление, солнечная радиация, магнитная активность, состав воздуха [1–3]. Интенсивность биотропного воздействия обусловлена не только величиной этих факторов, но и периодичным и аperiodичным изменением их во времени [4]. Длительная экспозиция высокой температуры вызывает гипертермию и сопутствующие ей синдромы, такие как тахикардия, гипер- или гипотензия, головная боль, судорожный синдром, водно-электролитные нарушения [5]. В результате охлаждения возможны многообразные функциональные изменения, ухудшающие здоровье [6, 7]. Так, определены 33 вида и класса болезней и синдромов, где острое воздействие холода может являться как причинным (этиологическим) фактором возникновения дисфункций, так и выступать решающим условием для реализации других патологических процессов (патогенетический фактор), способствуя обострению их клинического течения и утяжелению исходов.

Высокая влажность усиливает патогенное воздействие как высоких, так и низких температур. При высокой влажности нарушаются процессы вентиляции и альвеолокапиллярной диффузии [8]. Пары воды участвуют в поддержании уровня парциальной плотности кислорода (ППК) во вдыхаемом воздухе и в процессах теплоотдачи. Атмосферное давление влияет на значительное число функций организма человека, в том числе на газообмен и работу системы кровообращения [9].

В настоящее время растёт озабоченность компетентных специалистов изменением содержания кислорода в приземном воздухе [10, 11]. Существует несколько классификаций погод, где влияющим на здоровье человека определяющим фактором является величина ППК. Это гипоксический, спастический, индифферентный, гипотензивный типы, требующие или не требующие медицинского контроля [12, 13].

Необходимо отметить, что среди этих типов погод не рассматриваются ситуации с повышенным содержанием кислорода, хотя в ряде работ было установлено негативное воздействие на здоровье и самочувствие человека повышенного содержания кислорода во вдыхаемом воздухе [14], в том числе и в высоких широтах [15].

С учётом сочетания периодических и аperiodических изменений погодных факторов представляется актуальным оценить их внутригодовые вариации в различных климатических поясах и определить их вклад в формирование сезонных ритмов ППК.

Цель исследования. Оценить вклад погодных факторов субарктического и субтропического климатических поясов в сезонную динамику ППК в атмосферном воздухе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Погода испытывает периодические и аperiodические изменения, поэтому для математического анализа изменений погоды применен вейвлет-анализ [16]. Анализ сигналов производили в плоскости wavelet-коэффициентов (масштаб–время–уровень) [17]. По результатам вейвлет-преобразования можно судить, как меняется спектральный состав временного ряда со временем, то есть возможно отслеживать погодные «всплески»: циклоны с атмосферными фронтами и их влияние на постоянные ритмы погодных компонентов [4].

Определяли средний уровень показателя (мезор, $M \pm m$), амплитуду ритма (A , усл. ед.), периоды постоянных и вставочных (квантованных) ритмов (сут/мес.), коэффициент вариации (c_v , %) и коэффициент синхронизации (r , усл. ед.) анализируемых временных рядов. Статистическую значимость ритмов оценивали путём многократной (5000) случайной перестановки уровней исходного временного ряда. Приведённые в статье значения p показывают долю случаев, когда энергия выделенной частотной составляющей в исходном ряду превышала соответствующую энергию в случайной перестановке.

Для оценки околородовых вариаций погодных факторов использовали ежедневные среднесуточные значения температуры окружающего воздуха (T , °C); атмосферного давления (P , мм рт. ст.), относительной влажности (φ , %) и ППК (g/m^3).

ППК (другое определение — весовое содержание кислорода) прямо пропорционально атмосферному давлению за вычетом парциального давления водяного пара и обратно пропорционально температуре воздуха: $O_2 = 83 \times (P - \varphi) / T$, которое коррелирует с парциальным давлением кислорода во вдыхаемом и альвеолярном воздухе в зависимости от физических характеристик [18, 19].

Для минимизации влияния гелиогеофизических факторов на погоду выбран 2007 г. как наиболее спокойный год, 23 цикла солнечной активности (среднемесячный сглаженный минимум чисел Вольфа составляет 2,2). Продолжительность фактических сезонов года на исследуемых территориях представлена в табл. 1.

Город Ханты-Мансийск, координаты: 61° с. ш. 69° в. д. Климат резко континентальный: суровая продолжительная зима с сильными ветрами и метелями, весенними возвратами холодов, поздними весенними и ранними осенними заморозками. Характерна следующая фактическая продолжительность сезонов года¹: осень с 05 сентября по 11 октября (36 дней); зима с 12 октября по 27 апреля (200 дней); весна с 28 апреля по 09 июня (42 дня); лето с 10 июня по 04 сентября (87 дней). В течение года наблюдаются выраженные изменения фотопериода:

¹ Ханты-Мансийский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Режим доступа: <http://www.ugrameteo.ru> Дата обращения: 07.11.2024.

Таблица 1. Продолжительность фактических сезонов года в Ханты-Мансийске (Россия) и Полокване (ЮАР)

Table 1. Duration of actual seasons of the year in Khanty-Mansiysk (Russia) and Polokwane (South Africa)

Ханты-Мансийск Khanty-Mansiysk												
Август August	Сентябрь September	Октябрь October	Ноябрь November	Декабрь December	Январь January	Февраль February	Март March	Апрель April	Май May	Июнь June	Июль July	
Лето Summer		Осень Autumn		Зима Winter				Весна Spring			Лето Summer	
Полокване Polokwane												
Август August		Сентябрь September	Октябрь October	Ноябрь November	Декабрь December	Январь January	Февраль February	Март March	Апрель April	Май May	Июнь June	Июль July
Зима Winter	Весна Spring			Лето Summer				Осень Autumn			Зима Winter	
Сухой сезон Dry season			Влажный сезон Wet season					Сухой сезон Dry season				

минимальная продолжительность светового дня отмечена 22 декабря и достигает 5 ч 32 мин; летом во время белых ночей светлое время суток составляет 19 ч 17 мин.

Город Полокване — административный центр муниципалитета Полокване, района имени Тропика Козерога и провинции Лимпопо (ЮАР), координаты: 23° ю. ш. 29° в. д.

Лето в Лимпопо продолжается с ноября по март (~5 мес.). В этот сезон выпадает большая часть ежегодных осадков. Дневная температура может колебаться от 25 до 40 °C и более. Осень (апрель, май) — переходный сезон, характеризуется умеренными температурами и уменьшением количества осадков. Дневные температуры колеблются от 20 до 30 °C, количество осадков значительно уменьшается. Зима длится с июня по август (~3 мес.). Осадков практически не выпадает. Продолжительность весны, переходного периода от сухого сезона к влажному, ~2 мес. (сентябрь, октябрь). Колебания температуры от 20 до 35 °C. В провинции обильное солнечное освещение в течение всего года, особенно зимой. Сезонные вариации фотопериода незначительны, в пределах трёх часов (22 июня продолжительность светового дня — 10 ч 39 мин, 22 декабря — 13 ч 36 мин)².

Этическая экспертиза

Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом Ханты-Мансийской государственной медицинской академии (заключение № 214 от 15 октября 2024 г.).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Среднегодовые величины, амплитуда колебаний и коэффициент вариации температуры, атмосферного давления, относительной влажности и ППК в Ханты-Мансийске и Полокване представлены в табл. 2.

Среднегодовые значения ППК в Ханты-Мансийске и Полокване значимо не отличаются (см. табл. 2), но наблюдаются достоверные сезонные различия (рис. 1), минимальные значения отмечаются в летние месяцы как в северном, так и в южном полушариях, однако коэффициент вариации ППК в Ханты-Мансийске выше — 5,22% (от 260 г/м³ летом до 330 г/м³ зимой), тогда как в Полокване вариация ППК в течение года составляет 2,39% (от 260 г/м³ летом до 290 г/м³ зимой).

При проведении вейвлет-анализа колебаний ППК в Ханты-Мансийске обнаруживаются два вставочных [20] ритма, или всплеска [21]: 101,1 сут/4,65 усл. ед./0,001³ и 135 сут/2,99 усл. ед./0,001 продолжительностью с января по июнь (зимне-весенний период). При сравнении спектрограммы ППК с таковыми других погодных параметров аналогичная продолжительность вставочных ритмов зафиксирована при колебаниях Т (101,1 сут), Р (75,3 сут) и ф (68,3 сут). У показателя влажности выявляются осенне-весенние всплески (19,0 сут; 17,3 сут). Корреляционный анализ вариаций погодных факторов и ППК в Ханты-Мансийске указывает на сильную положительную связь отношения ППК/Т (r=0,924) и умеренную положительную связь отношений ППК/Р (r=0,318) и ППК/ф (r=0,386).

Годовые колебания ППК в субтропическом климатическом поясе тоже имеют два вставочных ритма: 83,1 сут/2,11 усл. ед./0,002 и 23,2 сут/0,69 усл. ед./0,035, но в отличие от субарктического пояса мощность высокоамплитудного ритма с периодом 83,1 сут наблюдается в виде двух всплесков: январь—март и октябрь—декабрь, что соответствует влажному (летнему) сезону, а низкоамплитудный, но значимый ритм с периодом 23,2 сут наблюдается в максимум сухого сезона — июнь—июль (рис. 1). Температура воздуха в субтропическом поясе характеризуется постоянным низкоамплитудным трёхмесячным ритмом (101,1 сут/1,46 усл. ед./0,003) в отличие от вставочного в субарктическом климате.

² Green Book: Adapting South African Settlements to Climate Change.Результаты исследования. URL: <https://greenbook.co.za> Дата обращения: 07.11.2024.

³ Здесь и далее: период/амплитуда/значимость.

Таблица 2. Среднегодовые величины, амплитуда колебаний и коэффициент вариации температуры, атмосферного давления, относительной влажности, парциальной плотности кислорода в Ханты-Мансийске и Полокване

Table 2. Average annual values, amplitude of fluctuations and coefficient of variation of temperature, atmospheric pressure, relative humidity, partial oxygen density in the cities of Khanty-Mansiysk and Polokwane

Параметры Parameters	M±m	A	c _v
Ханты-Мансийск Khanty-Mansiysk			
Температура, °C Temperature (°C)	0,84±13,86	192,74	1641,15
Атмосферное давление, мм рт. ст. Atmospheric pressure (mmHg)	1012,34±10,16	1024936,77	1,00
Относительная влажность, % Relative humidity (%)	77,75±10,31	6151,88	13,27
Парциальная плотность кислорода, г/м³ Partial oxygen density (g/m³)	283,24±14,79	80445,13	5,22
Полокване Polokwane			
Температура, °C Temperature (°C)	17,77±4,36	334,77	24,52
Атмосферное давление, мм рт. ст. Atmospheric pressure (mmHg)	1021,29±4,24	1043051,72	0,41
Относительная влажность, % Relative humidity (%)	63,28±14,41	4212,23	22,77
Парциальная плотность кислорода, г/м³ Partial oxygen density (g/m³)	274,22±6,55	75237,27	2,39

Примечание. М — средний уровень; m — стандартная ошибка; А — амплитуда колебаний (усл. ед.); c_v — коэффициент вариации (%).

Note. M — average level; m — standard error; A — oscillation amplitude (conventional units); c_v — variation coefficient (%).

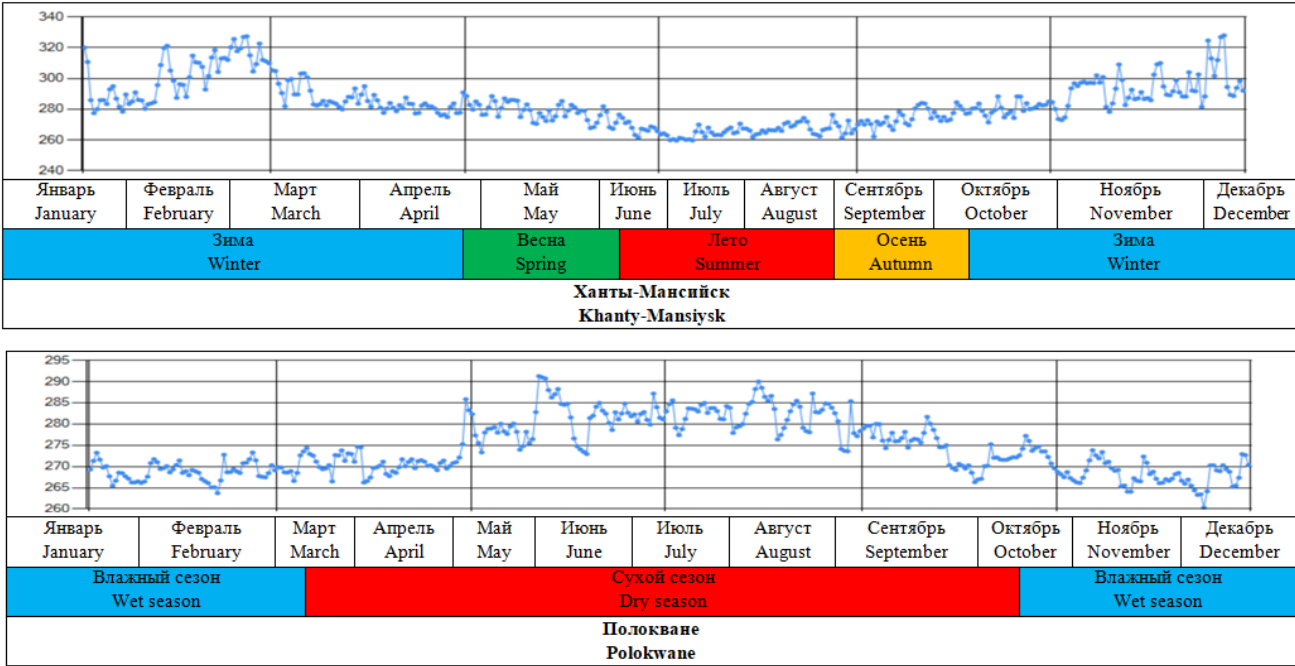


Рис. 1. Динамика парциальной плотности кислорода в Ханты-Мансийске и Полокване: ось абсцисс — величина парциальной плотности кислорода (г/м³), ось ординат — месяцы и сезоны.

Fig. 1. Dynamics of the partial oxygen density in Khanty-Mansiysk and Polokwane: the abscissa axis is the value of the partial oxygen density (g/m³), the ordinate axis is months and seasons.

Вариации атмосферного давления имеют постоянный высокоамплитудный (2,46 усл.ед.) ритм с периодом 101,1 сут (0,001) и кратковременные «вставочные» ритмы — 21,0 сут (0,001), 34,4 сут (0,001) и 50,9 сут (0,015), максимум мощности которых приходится на середину сухого сезона (май–август). Показатель влажности имеет постоянный ритм с периодом 83,1 сут (0,001) с максимальной мощностью в течение всего сухого сезона. Уровень взаимосвязи между ППК и погодными факторами в субтропическом климатическом поясе умеренно положительный: ППК/Т ($r=0,627$); ППК/Р ($r=0,489$); ППК/φ ($r=0,351$).

ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе хронобиологических особенностей колебаний ППК можно отметить, что в субарктическом регионе годовой ритм ППК модулируется вставочными внутригодовыми ритмами погодных факторов, вклад которых в результирующую величину ППК не одинаков в различные сезоны года. Наблюдается совпадение по временной оси вставочных ритмов ППК, температуры воздуха и влажности преимущественно в зимний период, летом величина ППК в большей мере зависит от короткопериодных

вставочных ритмов атмосферного давления. Внутригодовой размах величин показателя достаточно высок (c_v — 5,22%), для сравнения в Москве — 2,7% [15]. Анализ окологодных вариаций ППК показывает, что в субарктическом регионе наблюдаются стабильные сезонные изменения с гипероксией в зимний период и гипертермической гипоксией в летний.

В субтропическом климатическом поясе наблюдается ригидный ритм ППК (c_v — 2,39%) с низким мезором, что свидетельствует о неблагоприятном кислородном типе погоды [12], причиной которого могут быть преимущественно постоянные низкоамплитудные ритмы погодных факторов. Повышение ППК (ритм с периодом 23,2 сут) в мае — июне сухого сезона обуславливается кратковременными колебаниями атмосферного давления. Субтропический регион характеризуется круглогодичной погодной гипоксией с незначительным приростом ППК во время сухого сезона.

На севере преобладают вставочные сезонные ритмы, на юге — низкоамплитудные постоянные окологодные. За счёт этого и формируются ригидный субтропический и выраженный сезонный субарктический ритмы ППК.

Количественная оценка погодных условий с медицинской точки зрения включает три типа кислородной погоды: благоприятная с ППК около 285 ± 5 г/м³, условно неблагоприятная — с ППК 270–280 г/м³, неблагоприятная — с ППК ниже 270 г/м³ [19]. В медицинской классификации погоды по И.И. Григорьеву [12, 18] эти типы погоды классифицируются как требующие усиленного медицинского контроля (ППК 289–260 г/м³) и строгого медицинского контроля (ППК менее 260 г/м³), в отличие от весьма благоприятного типа (ППК более 315 г/м³). На этом классификация заканчивается, нигде не рассматривается влияние повышенной ППК, то есть гипероксии, что отмечают и некоторые авторы [15].

Кислород необходим для жизни, но как любое лекарственное средство он обладает положительным биологическим и сопутствующими токсическими эффектами. Патофизиологические процессы гипероксии связаны с повышением уровня активных форм кислорода, которые могут легко вступать в реакцию с окружающими биологическими тканями, повреждая липиды, белки и нуклеиновые кислоты. Антиоксидантная защита может быть нарушена из-за гипероксии. Активные формы кислорода приводят к окислительному стрессу. Активированный эндотелий альвеолярных капилляров характеризуется повышенной адгезивностью, что приводит к накоплению клеточных популяций, таких как нейтрофилы, которые являются источником активных форм кислорода. Повышенный уровень активных форм кислорода вызывает гиперпроницаемость, коагулопатию и отложение коллагена, а также другие необратимые изменения, происходящие в альвеолярном пространстве [22].

Согласно теории А.И. Журавлева [23], первичное действие физических факторов связано с их влиянием на свободнорадикальные процессы. По способу генерировать

свободные радикалы все факторы делились автором на 3 основные группы: 1) иницирующие свободные радикалы — ионизирующая радиация, ультрафиолетовые лучи, ультразвук, повышенное парциальное давление кислорода (оксигенотерапия); 2) ингибирующие свободнорадикальное окисление — пелоиды, сероводородные ванны, пониженное парциальное давление кислорода; 3) косвенно действующие на радикальные процессы — различные токи, видимое и инфракрасное излучение, микроволны и др. [24].

В анестезиологии и интенсивной терапии применение длительной искусственной вентиляции лёгких, наряду с увеличением использования гипербарической оксигенотерапии, сделало гипероксию серьёзной клинической проблемой. Даже сейчас, спустя почти 240 лет после открытия кислорода, остаются неясными безопасные с медицинской точки зрения верхние пределы и продолжительность вдыхаемой высокой фракции кислорода [25, 26].

В последнее время гипероксия применяется в виде интервальных гипоксически-гипероксических тренировок в спортивной [27] и клинической [28] медицине. Эффективность таких тренировок повышают чередованием коротких гипоксических экспозиций гипероксическими (2–3 мин газовая смесь с 30% O₂) импульсами [29].

Вместе с тем во многом не решена проблема «доза-эффект», считающаяся одной из важнейших в отношении свободнорадикальных процессов. Определение уровня активных форм кислорода, а также соотношения прооксидант/антиоксидант может быть использовано для объективной градации воздействия кислорода и других физических факторов [30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В субарктическом регионе годовой ритм ППК модулируется вставочными внутригодовыми ритмами погодных факторов, вклад которых в результирующую величину ППК не одинаков в разные сезоны года. Наблюдается совпадение по временной оси вставочных ритмов ППК, температуры воздуха и влажности преимущественно в зимний период, летом величина ППК в большей мере зависит от короткопериодных вставочных ритмов атмосферного давления. Население Ханты-Мансийска подвергается воздействию изменённой газовой среды в течение всего года. Гипероксия в течение пяти месяцев: ноябрь, декабрь, январь, февраль, март. Нормоксия, весенний компонент: апрель, май, июнь; осенний компонент: сентябрь, октябрь. Гипертермическая гипоксия: июль, август.

Причинами обнаружения в субтропическом климатическом поясе ригидного ритма ППК (коэффициент вариации — 2,3%) с низким мезором могут быть преимущественно постоянные низкоамплитудные ритмы погодных факторов. У жителей провинции Лимпопо в сухой сезон (с мая по сентябрь включительно) ППК незначительно отличается от нормы, но в течение влажного сезона (с ноября

по май) наблюдается гипоксия, которая в соответствии с медицинской классификацией погоды определяется как требующая усиленного медицинского контроля.

С учётом наличия аperiодических составляющих в динамике погодных факторов в математической обработке данных необходимо применение методов, которые оценивают изменения спектрального состава временного ряда со временем. Медицинские классификации погод рекомендуем дополнить такими пунктами как «гипероксический день» и «гипероксический» тип погоды.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. О.Н. Рагозин — существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, редактирование и окончательное утверждение рукописи; И.В. Радыш — редактирование и окончательное утверждение рукописи; Л. Мутзэло — анализ данных; Е.Ю. Шаламова — подготовка первого варианта статьи; А.Б. Гудков — редактирование первого варианта статьи; Э.Р. Рагозина — набор первичного материала; И.А. Погонишева — анализ данных. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом Ханты-Мансийской государственной медицинской академии (заключение № 214 от 15 октября 2024 г.).

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. O.N. Ragozin — a significant contribution to the concept and design of the study, editing and final approval of the manuscript; I.V. Radysh — editing and final approval of the manuscript; L. Muthelo — data analysis; E.Yu. Shalamova — preparation of the first version of the article; A.B. Gudkov — editing the first version of the article; E.R. Ragozina — a set of primary material; I.A. Pogonysheva — data analysis. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Ethical expertise. The study was approved by the local ethics committee Khanty-Mansiysk State Medical Academy (conclusion No. 214 dated October 15, 2024).

Funding sources. No funding.

Disclosure of interests. The authors have no relationships, activities or interests for the last three years related with for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality. In creating this work, the authors did not use previously published information (text, illustrations, data).

Data availability statement. The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, and no new data was collected or created.

Generative AI. Generative AI technologies were not used for this article creation.

Provenance and peer-review. This paper was submitted to the journal on an unsolicited basis and reviewed according to the usual procedure. Two external reviewers, a member of the editorial board, and the scientific editor of the publication participated in the review.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Bobrovnikitskiy IP, Yakovlev MYu, Fesyun OA, Evseev SM. Main aspects of the influence of meteorological and heliogeophysical factors on the human body. *Russian Journal of Rehabilitation Medicine*. 2021;(2): 40–46. EDN: OKPRST
- Prilipko NS, Bobrovnikitskiy IP. Improvement of the regulatory and legal framework in the system of organization and provision of medical care for patients with environmentally caused diseases. *Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine*. 2022;(1):1–30. EDN: SUFXPL
- Nagornev SN, Frolkov VK, Khudov VV. The influence of extreme climatogeographical factors of the arctic zone of the russian federation on the functional state of indigenous and newly-arrived population. *Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine*. 2022;(2):53–69. EDN: LEUALA
- Vasil'ev DYu, Babkov OK, Kochetkova ES, Semenov VA. Wavelet and cross-wavelet analysis of the sums of atmospheric precipitation and surface air temperature in European Russia. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya geograficheskaya*. 2017;(6):63–77. doi: 10.7868/S0373244417060068 EDN: ZVFRHJ
- Aghajanyan NA, Radysh IV. *Biorhythms, habitat, health*. Moscow: RUDN; 2013. 362 p. (In Russ.)
- Gudkov AB, Mosyagin IG, Ivanov VD. Characteristics of the phase structure of the cardiac cycle in recruits of the Navy training center in the North. *Military Medical Journal*. 2014;335(2):58–59. (In Russ.) EDN: SXFGJN
- Chashchin VP, Gudkov AB, Chashchin MV, Popova ON. Predictive assessment of individual human susceptibility to damaging cold exposure. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2017;24(5):3–13. doi: 10.33396/1728-0869-2017-5-3-13 EDN: YNGENT
- Gudkov AB, Popova ON. *External human respiration in the European North*. Arkhangelsk: Publishing house of the Northern State Medical University; 2012. 251 p. (In Russ.) EDN: QKUPDZ
- Kuzmenko NV, Galagudza MM, Fedorenko AA, et al. Seasonal dynamics of cardiovascular events in the Russian Federation. *Russian Journal of Cardiology*. 2024;29(6):20–30. doi: 10.15829/1560-4071-2024-5773 EDN: KYZRXI
- Ginzburg AS, Vinogradova AA, Fedorova EI, et al. Oxygen in the atmosphere of large cities and people breath problems. *Geophysical Processes and Biosphere*. 2014;13(2):5–19. EDN: SCKXXN
- Zamolodchikov DG. The lack of oxygen: myth or reality? *Use and Protection of Natural Resources of Russia*. 2005;(3):122–132. EDN: REXOLP
- Grigoriev II, Paramonov IG, Ten MM. *A brief guide to making medical forecasts*. Moscow: Hydrometeoizdat; 1974. 14 p. (In Russ.)
- Petrov VN. Features of influence of oxygen' partial density gradient in the air on the health status of populations living in the arctic zone of the russian federation. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*. 2015;(3):82–92. EDN: VBAYNZ
- Aghajanyan NA, Chizhov AY. *Hypoxic, hypocapnic, hypercapnic conditions*. Moscow: Medicine; 2003. 212 p. (In Russ.) EDN: QLEQMZ

15. Ginzburg AS, Vinogradova AA, Lezina EA, Pomelova MA. Changes in oxygen content in urban air under the influence of natural and anthropogenic factors. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2023;59(4):437–449. doi: 10.31857/S0002351523040065EDN: YNGQLA
16. Ragozin ON, Bochkarev MV, Kosarev AN, et al. *Program for the study of biological rhythms by the method of wavelet analysis*. Certificate of state registration of a computer program No 2014611398 / 03.02.2014. (In Russ.)
17. Malla S. *Wavelets in signal processing*. Moscow: Mir; 2005. 672 p. (In Russ.)
18. Ovcharova VF, Butyeva IV, Shveinova TG, Alyoshina TP. Specialized weather forecast for medical purposes and prevention of meteoropathic reactions. *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*. 1974;(2):109–19. (In Russ.)
19. Nikberg II, Revutsky EL, Sakali LI. *Human heliometeorotropic reactions*. Kiev: I'm healthy; 1986. 144 p. (In Russ.)
20. Ragozin ON, Tatarinzev PB, Pogonyshcheva IA, et al. Corrections for geographical differences in photoperiod in time-series analysis. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(2):139–149. doi: 10.17816/humeco117532 EDN: VVYQJA
21. Novikov IYa, Stechkin SB. Fundamentals of the theory of bursts. *Russian Mathematical Surveys*. 1998;53(6):1159–1231. doi: 10.1070/rm1998v053n06ABEH000089 EDN: EJDBAP
22. Mach WJ, Thimmesch AR, Pierce JT, Pierce JD. Consequences of hyperoxia and the toxicity of oxygen in the lung. *Nurs Res Pract*. 2011;2011:260482. doi:10.1155/2011/260482
23. Zhuravlev AI, Zubkova SM. *Antioxidants. Free radical pathology, aging*. Moscow: Belye Alvy; 2014. 304 p. (In Russ.)
24. Zhuravlev AI. *Quantum biophysics of animals and humans*. Moscow: BINOM; 2011. 398 p. (In Russ.) EDN: QKTOKZ
25. Dolgikh VT, Govorova NV, OrlovYuP, et al. Pathophysiological aspects of hyperoxia in anesthesiologist-reanimatologist's practice. *General Reanimatology*. 2017;13(3):83–93. doi: 10.15360/1813-9779-2017-3-83-93 EDN: YYVPHX
26. Orlov YuP, Govorova NV, Lukach VN, et al. Hyperoxia in the ICU and what has changed in 100 years in the tactics of using oxygen in medicine: a review. *Annals of Critical Care*. 2022;(2):80–94. doi: 10.21320/1818-474X-2022-2-80-94 EDN: CRDEJI
27. Glazachev OS, Smolensky AV, Dudnik YeN, et al. Periodic hypoxic-hyperoxic training in the rehabilitation of sportsmen with the chronic hyper-training syndrome (a pilot study). *Exercise therapy and Sports Medicine*. 2010;(2):19–25. EDN: MUIWDJ
28. Feofanova TB. The method of interval hypoxic-hyperoxic training as a rehabilitation option for patients after Covid-19. In: *Integration of science and society in modern socio-economic conditions*. Moscow; 2021. P. 27–29. (In Russ.) EDN: SLCEFF
29. Arkhipenko YuV, Sazontova TG. The effect of adaptation to different oxygen levels on physical endurance, free radical oxidation and urgent response proteins. The Russian Conference "Hypoxia: mechanisms, adaptation, correction". *Pathogenesis*. 2008;(3):44–45. (In Russ.)
30. Ulashchik VS. Active oxygen species, antioxidants, and the action of therapeutic physical factors. *Problems of Balneology, Physiotherapy, and Exercise Therapy*. 2013;90(1):60–69. EDN: PYASAR

ОБ АВТОРАХ

* **Погонышева Ирина Александровна**, канд. биол. наук, доцент;
адрес: Россия, 628611, Нижневартовск, ул. Дзержинского,
д. 11, каб. 301;
ORCID: 0000-0002-5759-0270;
eLibrary SPIN: 6095-8392;
e-mail: severina.i@bk.ru

Рагозин Олег Николаевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-5318-9623;
eLibrary SPIN: 7132-3844;
e-mail: oragozin@mail.ru

Радыш Иван Васильевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-0939-6411;
eLibrary SPIN: 4780-5985;
e-mail: iradysh@mail.ru

Мутэло Ливувани, PhD;
Researcher ID: AHC-1001-2022
e-mail: livhuwani.muthelo@ul.ac.za

Шаламова Елена Юрьевна, д-р биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0001-5201-4496;
eLibrary SPIN: 8125-9359;
e-mail: selenzik@mail.ru

Гудков Андрей Борисович, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0001-5923-0941;
eLibrary SPIN: 4369-3372;
e-mail: gudkovab@nsmu.ru

Рагозина Элина Разифовна, аспирант;
ORCID: 0000-0003-0199-2948;
e-mail: elinka1000@yandex.ru

AUTHORS' INFO

* **Irina A. Pogonyshcheva**, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor;
address: 11 Dzerzhinsky st, ofc 301, Nizhnevartovsk, Russia,
628611;
ORCID: 0000-0002-5759-0270;
eLibrary SPIN: 6095-8392;
e-mail: severina.i@bk.ru

Oleg N. Ragozin, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-5318-9623;
eLibrary SPIN: 7132-3844;
e-mail: oragozin@mail.ru

Ivan V. Radysh, MD, Dr.Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0003-0939-6411;
eLibrary SPIN: 4780-5985;
e-mail: iradysh@mail.ru

Livhuwani Muthelo, PhD;
Researcher ID: AHC-1001-2022
e-mail: livhuwani.muthelo@ul.ac.za

Elena Yu. Shalamova, Dr. Sci. (Biology), Associate Professor;
ORCID: 0000-0001-5201-4496;
eLibrary SPIN: 8125-9359;
e-mail: selenzik@mail.ru

Andrei B. Gudkov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0001-5923-0941;
eLibrary SPIN: 4369-3372;
e-mail: gudkovab@nsmu.ru

Elina R. Ragozina, Postgraduate Student;
ORCID: 0000-0003-0199-2948;
e-mail: elinka1000@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author