

## СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЦЕРЕБРАЛЬНОГО ЭНЕРГООБМЕНА У ЧЕЛОВЕКА В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

© 2021 г. <sup>1</sup>А. В. Грибанов, <sup>2</sup>Н. Ю. Аникина, <sup>1</sup>О. Н. Котцова, <sup>2</sup>Т. В. Вилова

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова», г. Архангельск;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет», г. Архангельск

**Введение:** режим естественного освещения является одним из значимых экологических факторов, оказывающих влияние на функциональное состояние организма жителей арктических широт.

**Цель:** изучить сезонные особенности церебрального энергообмена у городских жителей Арктической зоны Российской Федерации.

**Методы:** Посредством обсервационного проспективного исследования изучали церебральный энергетический обмен у 49 жителей г. Архангельска в возрасте 30–34 лет с помощью пятиканального аппаратно-программного диагностического комплекса «Нейро-КМ» по данным распределения уровня постоянного потенциала (УПП) в различные сезоны года: в октябре, декабре, марте и июне. Анализировались показатели УПП путем картирования монополярных значений постоянного потенциала и расчета их градиентов. Значимых половых различий между показателями не было, что позволило объединить их в единую группу. Проверку статистических гипотез осуществляли с помощью критерия Манна–Уитни с поправкой Бонферрони для контроля альфа-ошибки.

**Результаты:** Наиболее оптимальное распределение УПП у жителей северных широт выявлено в осенний период. В зимний период повышаются суммарные показатели УПП, при этом значимо увеличивается активность височных областей коры головного мозга, нарушающих нормальность распределения УПП. Весной и летом снижается интенсивность церебрального энергообмена в целом по коре головного мозга. В то же время во фронтальных и затылочных структурах коры головного мозга УПП увеличивается, а минимальные его значения регистрируются в височных областях.

**Выводы:** Выявлена выраженная сезонность нейроэнергетического обмена у городских жителей г. Архангельска, которая наиболее вероятно связана с изменениями естественной освещенности. Наиболее негативные сдвиги выявлены в весенне-летний период. Для генерализации результатов и лучшего понимания механизмов, объясняющих сезонную динамику церебрального обмена, необходимы исследования в других регионах Арктики с включением более широкого спектра возрастных групп.

*Ключевые слова:* Арктика, фотопериодизм, головной мозг, уровень постоянного потенциала, церебральные энергообменные процессы

## SEASONAL VARIATIONS IN CEREBRAL ENERGY EXCHANGE IN URBAN ARCTIC RESIDENTS

<sup>1</sup>A. V. Griбанov, <sup>2</sup>N. Yu. Anikina, <sup>1</sup>O. N. Kottsova, <sup>2</sup>T. V. Vilova

<sup>1</sup>M. V. Lomonosov Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk; <sup>2</sup>Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

**Background:** Daylight is an important ecological factor influencing human physiology particularly in high latitudes.

**Aims:** To seasonal variations in cerebral energy exchange among young healthy adults living in an urban Arctic setting.

**Methods:** A cohort of 49 healthy volunteers aged 30–34 years permanently living in Arkhangelsk was followed over a year. All measurements were taken in autumn (October), winter (December), spring (March), and summer (June). Cerebral energy exchange was studied using the 5-channel diagnostic complex “Neuro-KM”. The analysis of DC potential indicators was carried out by mapping monopolar values of constant potential and calculating their gradients. No gender differences were found; therefore all calculations were performed in the full sample. Differences in the average values of the measurements across the seasons were analyzed using Mann-Whitney tests with Bonferroni correction to control Type I error.

**Results:** The most optimal distribution of DC potentials in the studied individuals was observed in October. Significant decrease in the intensity of cerebral energy exchange in the cerebral cortex was registered in March and June. At the same time, we registered an increase in DP potentials in the frontal and occipital structures of the cerebral cortex, but a decrease in DC potential in the temporal areas in the period in the same period.

**Conclusions:** We observed significant seasonal variations in neuroenergy metabolism among young healthy volunteers in Arkhangelsk which is highly likely linked to changes in the number daylight hours. The least favorable changes in DC potential were registered in spring and summer months. For better understandings seasonal variations and their mechanisms larger studied including other age-groups are warranted in different Arctic settings.

*Key words:* Arctic, photoperiodism, brain, DC-potentials, energy exchange processes

### Библиографическая ссылка:

Грибанов А. В., Аникина Н. Ю., Котцова О. Н., Вилова Т. В. Сезонная динамика церебрального энергообмена у человека в Арктической зоне // Экология человека. 2021. № 5. С. 13–19.

### For citing:

Griбанov A. V., Anikina N. Yu., Kottsova O. N., Vilova T. V. Seasonal Variations in Cerebral Energy Exchange in Urban Arctic Residents. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021, 5, pp. 13–19.

### Введение

Среди климатогеографических факторов высоких широт, оказывающих негативное влияние на организм человека [4, 5, 19], особое значение имеет световой режим, важнейшей характеристикой которого является фотопериодизм, различный в течение года и на разных широтах [1, 14, 15, 17].

Так, на широте Архангельска, который вполне правомерно отнесен к Арктической зоне, наибольшая продолжительность солнечного сияния отмечается в июле (334 часа), наименьшая — в декабре (1 час). «Биологическая полярная ночь» длится более 5 месяцев в году [2, 11].

Фотопериодические реакции как способность организма реагировать на суточный ритм имеют большое приспособительное значение [7, 18]. Ритм дня и ночи выступает как сигнал предстоящих климатических изменений и оказывает влияние на те физиологические, морфологические и поведенческие особенности организма, которые являются сезонными приспособлениями [8–10]. Выраженная сезонная асимметрия естественной освещенности на Севере проявляется в зимние и летние месяцы и может способствовать десинхронизации биологических ритмов у человека [3, 13, 16].

Адаптивные реакции в условиях измененного светового режима вызывают более напряженное функционирование различных структур головного мозга, изменяя его энергетическое состояние [6, 20]. Однако, несмотря на значимость показателей церебрального энергообмена для оценки динамики функционального состояния центральной нервной системы и процессов адаптации, до сих пор нет данных об их изменениях в различные сезоны года. Всё это и предопределило проведение данной работы, цель которой — выявить сезонную динамику церебрального энергообмена у жителей Арктической зоны Российской Федерации.

### Методы

Основу настоящей работы составили исследования церебральных энергетических процессов у молодых людей трудоспособного возраста (30–34 года), родившихся и проживающих на территории арктического региона (мужчин 24 человека, женщин — 25). У всех участников было получено письменное информированное согласие в соответствии с принципами Хельсинкской декларации. Исследование одобрено этическим комитетом института медико-биологических исследований ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова», протокол № 1 от 14.01.2019 г.

Исследование энергетического состояния головного мозга проводилось на пятиканальном аппаратно-программном диагностическом комплексе «Нейро-КМ» («АСТЕК», Россия) в осенний (октябрь), зимний (декабрь), весенний (март) и летний (июнь) сезоны года. Потенциалы регистрировались с помощью хлор-серебряных электродов «ЭВЛ-1-М4» (референтный) и ЕЕ-G2 (активный) монополярно по пяти отведениям.

Активные электроды располагались по сагиттальной линии в лобной, центральной и затылочной областях (Fz, Cz, Oz), а также по парасагиттальной линии в правом и левом височных отделах (Td, Ts), по международной схеме 10–20. Референтный электрод накладывался на запястье левой руки. При регистрации и анализе выделяли четыре типа характеристик распределения уровня постоянного потенциала (УПП), отражающие разные аспекты энергетических процессов головного мозга: монополярные значения УПП, локальные значения УПП и усредненный УПП.

Анализ распределения УПП проводился путем картирования значений постоянного потенциала и расчета межэлектродной разности. Полученные характеристики распределения УПП сравнивали со среднестатистическими нормативными значениями, встроенными в программное обеспечение комплекса.

Статистическая обработка полученных данных проводилась при помощи пакета программ SPSS Statistics 20. В связи с тем, что различия между показателями у лиц мужского и женского пола в осенний период были статистически не значимыми, мы анализировали распределение УПП головного мозга у испытуемых, не выделяя половые группы отдельно.

Вычислялась одномерная описательная статистика для каждого из показателей, проводилась оценка распределений признаков на нормальность. В данном случае распределения не соответствовали критериям нормальности, поэтому результаты непараметрических методов обработки данных представлялись в виде медианы (Me), а также первого и третьего квартилей (Q1; Q3). Для сравнения групп применялся непараметрический критерий Манна — Уитни. Вследствие множественных сравнений была проведена корректировка критического уровня значимости с помощью поправки Бонферрони:  $\alpha_{\text{корректир.}} = \alpha / m$ , где  $\alpha = 0,05$ ,  $m$  — число сравнений. В данном исследовании  $m = 5$ . Различия считались статистически значимыми при уровне  $p < 0,01$ .

### Результаты

Анализ полученных данных выявил следующие особенности сезонной динамики изменения УПП у молодых людей, постоянно проживающих в условиях арктического региона. Наиболее благоприятным сезоном с позиции церебральных энергообменных процессов для северян был выявлен осенний период, вследствие этого было принято решение все значения анализировать в сравнении с осенними (таблица).

Монополярные значения УПП в лобном отведении (Fz) на протяжении всего года с осени до лета сохраняют тенденцию к росту (рис. 1). При этом сдвиг УПП от сезона к сезону происходит с плавным нарастанием. Максимальный рост значений наблюдается в период увеличения интенсивности естественного освещения при переходе от весны к лету.

Наименьшим сезонным изменениям подвержены значения УПП в центральном и затылочном отведениях. Так, наибольший рост уровня потенциала в

центрального отведения (Cz) регистрируется при увеличении темного времени суток в процессе перехода от осени к зиме. С приходом весны значения УПП

в данном отведении не претерпевают значительных изменений. Далее при нарастании светлого времени суток значения потенциала в центральной области

**Монопольные, усредненное и локальные значения распределения уровня постоянного потенциала в различные сезоны у жителей Арктической зоны, Me (Q1; Q3), mV**

Ответвление	Осень	Зима	Весна	Лето
Fz	7,3 (1,5; 18,6)	10,5 (4,6; 20,8)	14,7 (7,8; 23,0)	19,6 (13,9; 25,3)
p1	p2	0,363	0,071	0,015
Cz	15,2 (3,5; 22,5)	20,0 (9,3; 27,6)	19,6 (9,4; 31,3)	15,6 (8,1; 28,6)
p1	p2	0,056	0,285	0,039
Oz	11,0 (6,5; 17,0)	13,6 (5,0; 20,0)	16,0 (11,1; 26,5)	14,0 (0,2; 23,0)
p1	p2	0,541	0,017	0,013
Td	5,6 (2,3; 11,3)	13,9 (5,5; 23,2)	4,5 (−9,5; 13,3)	−5,0 (−25,6; 9,8)
p1	p2	0,007	0,006	0,134
Ts	4,8 (−2,5; 11,9)	10,9 (3,1; 19,9)	4,7 (−12,3; 16,1)	−7,3 (−26,3; 9,7)
p1	p2	0,002	0,029	0,524
Xcp	7,8 (5,7; 14,4)	14,2 (7,7; 21,3)	11,4 (3,6; 20,2)	4,1 (−4,3; 17,5)
p1	p2	0,012	0,395	0,342
Fz-Xcp	−0,9 (−5,7; 4,8)	−2,4 (−6,3; 2,4)	4,8 (1,0; 8,1)	14,5 (3,5; 21,9)
p1	p2	0,483	p<0,001	0,017
Cz-Xcp	6,5 (−1,8; 11,6)	4,3 (0,2; 9,3)	9,3 (0,5; 15,9)	10,6 (7,4; 16,8)
p1	p2	0,777	0,027	0,035
Oz-Xcp	1,5 (−2,2; 7,6)	−1,2 (−4,6; 2,5)	4,4 (1,6; 14,4)	4,8 (0,1; 10,4)
p1	p2	0,003	p<0,001	0,010
Td-Xcp	−2,3 (−7,1; 1,6)	0,1 (−4,8; 3,4)	−6,4 (−19,2; −2,3)	−11,6 (−22,1; −6,3)
p1	p2	0,140	p<0,001	0,001
Ts-Xcp	−5,8 (−9,2; 1,2)	−2,5 (−6,2; 1,8)	−9,9 (−17,2; 0,1)	−15,6 (−21,4; −8,0)
p1	p2	0,088	0,001	0,015

Примечания: p1 — статистически значимое отличие между показателями в смежных сезонах; p2 — статистически значимое отличие показателей в сравнении с осенними; различия считались статистически значимыми с учетом поправки Бонферрони при уровне  $p < 0,01$ .

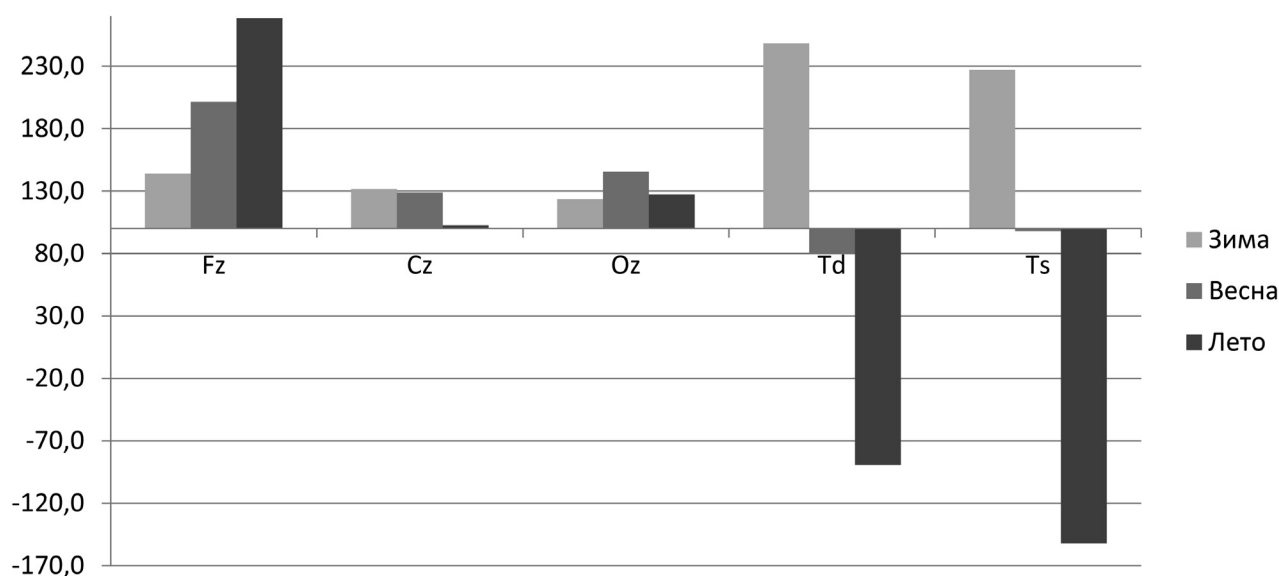


Рис. 1. Значения уровня постоянного потенциала относительно осеннего периода (%) по монопольным отведениям в различные сезоны года (за 100 % приняты значения осенних показателей)

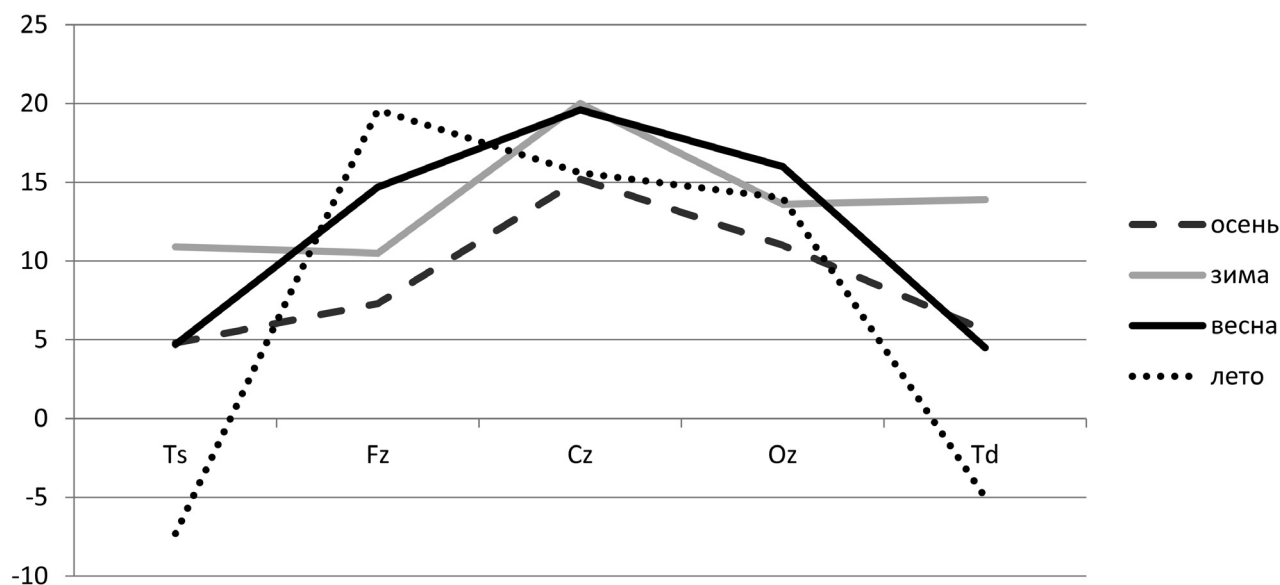


Рис. 2. Профиль распределения уровня постоянного потенциала по монополярным отведениям (mV) у жителей Арктической зоны в различные сезоны года

снижаются, достигая летом уровня осеннего периода. Таким образом, можно выделить два этапа изменения УПП в центральном отведении: минимальные значения в летне-осенний период и максимальные значения в период зима — весна.

Иная динамика изменений УПП выявлена в затылочном отведении. Осенью отмечается наименьшее значение УПП в данном отведении (Oz). С приходом «биологической полярной ночи» регистрируется его рост на 24 %. Наибольшего значения в данном отведении УПП достигает в весенний период, при этом при переходе от зимы к весне сдвиг УПП снова составляет 23 %. С приходом «биологического полярного дня» летом фиксируется снижение значений потенциала примерно на 23 %. Снижение на аналогичное значение наблюдается и при переходе от лета к осени. Таким образом, характер сдвигов УПП в затылочном отведении равнозначный, при этом прослеживается годичная цикличность изменений.

Особого внимания заслуживает сезонная динамика изменений УПП в височных отделах. И для правого, и для левого височного отведений она идентична. Значения потенциала в периоды межсезонья примерно равны. Весной уровень потенциала немного ниже осенних значений. Наибольшие показатели УПП отмечаются в период минимальной интенсивности естественной освещенности. Сдвиг потенциала в височных отведениях в сравнении с осенью составляет более 120 %. Наибольший рост УПП в зимний период регистрируется в правом височном отведении. С наступлением «биологического полярного дня» происходит резкое снижение уровня потенциала в височных областях — значения УПП уходят в отрицательную область. Наиболее энергодефицитным в летний период является левое височное отведение. Таким образом, изменения УПП в височных областях можно охарактеризовать «энергетическим

маятником», имеющим амплитудные значения при наибольшей и наименьшей интенсивности естественного освещения.

Анализ локальных показателей выявил следующие особенности распределения энергообменных процессов по коре головного мозга. В осенний период положительными значениями обладают центральный и затылочный локальные градиенты (Cz-X, Oz-X). В период «биологической полярной ночи» затылочный локальный показатель становится отрицательным, при этом происходит рост правого височного локального градиента, указывающего на активное включение центров правого полушария. При нарастании интенсивности естественного освещения локальные показатели лобного, центрального и затылочного отведений имеют тенденцию к росту при одновременном снижении локальных градиентов височных отведений.

Одним из показателей нормальности энергообменных процессов является соблюдение принципа «куполообразности» распределения УПП [12] — плавное снижение значений уровня потенциала от центра к периферии (рис. 2).

Согласно данным рисунка, принцип «куполообразности» соблюдается для значений УПП, зарегистрированных в осенний и весенний периоды, что указывает на нормальность распределения энергообменных процессов головного мозга у жителей арктического региона в эти сезоны года.

В зимний период увеличивается УПП в височных областях, в летний происходит резкое падение показателей Td, Ts. Данные изменения УПП в височных областях приводят к нарушению принципа «куполообразности».

### Обсуждение результатов

При анализе монополярных, усредненного и локальных значений распределения УПП выявлены

значительные перестройки энергообменных процессов при смене интенсивности естественной освещенности.

Так, наиболее сбалансированный церебральный энергообмен у жителей арктического региона отмечается в осенний период. Распределение энергозатрат по коре головного мозга в данный сезон года максимально соответствует параметрам нормы. Локальный показатель фронтальной области составляет меньше одного милливольта, что говорит о приближении УПП лобного отдела к среднему значению в целом по коре головного мозга. Суммарные показатели, по которым судят об интенсивности энергообменных процессов, в этот период практически равны нормативным значениям (рис. 3), что указывает на оптимизацию энергетического обмена головного мозга у жителей региона в осенний период. В сравнении с остальными сезонами осенью отмечается снижение энергозатрат в целом по коре головного мозга, что указывает на экономизацию церебрального энергометаболизма в данный сезон года.

Зимой при низкой естественной освещенности увеличиваются значения УПП по четырем основным отведениям (Fz, Cz, Td, Ts) в сравнении с осенним периодом. Наименьший сдвиг уровня потенциала регистрируется в затылочном отведении (Oz), что указывает на сниженную активность затылочной доли в осенне-зимний период. Наибольшим изменениям в период минимального светлого времени суток подвержен уровень потенциала в височных отведениях. При этом отмечается наибольший рост активности энергообменных процессов правого височного отдела, что указывает на превалирование активности центров правого полушария у жителей арктического региона при снижении интенсивности естественного освещения.

С приходом весны у северян регистрируется активация энергообмена лобного (Fz) и затылочного (Oz) отделов. В височных областях при увеличении естественной освещенности регистрируется значительное падение уровня потенциала, которое в дальнейшем продолжается и в летний период. При интенсивном нарастании светлого времени суток наибольшее

падение уровня потенциала регистрируется снова в правом височном отведении, что приводит к смене доминирующего полушария. В весенний период у жителей региона отмечается активное межполушарное взаимодействие с небольшим превалированием левого полушария.

При максимуме интенсивности освещенности суммарный показатель УПП по коре головного мозга имеет наименьшее значение. Это связано с резким падением уровня потенциала в височных областях. Энергообменные процессы фронтальных структур в период с осени до лета, напротив, увеличивают свою интенсивность, что приводит к нарушению принципа «куполообразности» распределения УПП. Локальный показатель УПП лобного отведения в весенне-летний период имеет максимальное значение среди пяти возможных, что указывает на значительную активацию энергообменных процессов фронтальной области коры головного мозга при нарастании естественной освещенности.

Известно, что нижневисочная и фронтальная области относятся к числу наиболее молодых корковых образований. По данным экспериментальных исследований, нижневисочные области являются одними из основных зон мозга, наиболее тесно взаимодействующих с лобными отделами [7]. С их участием формируются так называемые гибкие звенья рабочих мозговых систем, участвующие в компенсаторно-приспособительных реакциях. При снижении интенсивности естественного освещения активируются энергообменные процессы височных областей с одновременным снижением энергозатрат в лобных отделах. При увеличении естественной освещенности происходит резкое падение энергометаболизма в височных областях с одновременным его увеличением во фронтальных. Вероятно, за формирование процессов адаптации в течение годового цикла у жителей арктических территорий отвечают лобные и нижневисочные доли коры головного мозга, что приводит к сезонному перераспределению энергообмена между данными областями.

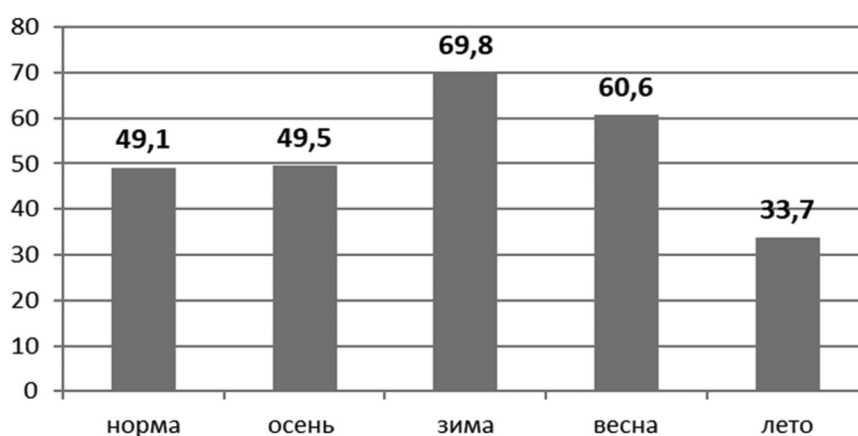


Рис. 3. Суммарные значения уровня постоянного потенциала по монополярным отведениям (mV) в различные сезоны у жителей Арктической зоны

## Выводы

Результаты проведенного исследования свидетельствуют прежде всего о наличии тесной связи между сменой фотопериодов и состоянием энергообменных процессов головного мозга у жителей Арктической зоны. Маятникообразное изменение энергообмена в височных областях в контрастные сезоны года и нарастание энергообмена во фронтальной области при увеличении естественного освещения закономерны, так как вся медиобазальная кора височной и лобной областей имеет теснейшую связь с аппаратами промежуточного мозга и ретикулярной формацией. Промежуточный мозг, в свою очередь, участвует в организации сенсорных процессов (в том числе и фотопериодических реакций), двигательной функции, деятельности вегетативной нервной системы. Таким образом, изменение нейроэнергетического обмена лобной и височной областей коры больших полушарий головного мозга является важным аппаратом сезонных адаптационных реакций у человека в климатических условиях северных широт.

## Авторство

Грибанову А. В. принадлежит идея статьи, он внес существенный вклад в получение, анализ и интерпретацию данных, подготовил окончательный вариант статьи; Аникина Н. Ю. и Котцова О. Н. внесли существенный вклад в проведение исследования, участвовали в анализе и интерпретации данных, подготовке статьи; Вилова Т. В. приняла участие в анализе полученных результатов исследования, редактировании текста и формулировании выводов.

Грибанов Анатолий Владимирович — ORCID 0000-0002-4714-6408; SPIN2788-8167

Аникина Наталья Юрьевна — ORCID 0000-0002-8115-0291; SPIN 1168-4705

Котцова Ольга Николаевна — ORCID 0000-0002-7004-6368; SPIN 1213-1050

Вилова Татьяна Владимировна — ORCID 0000-0002-8481-6511; SPIN 1701-8565

## Список литературы / References

1. Агаджанян Н. А. Воздействие внешних факторов на формирование адаптационных реакций организма человека // Новые технологии. 2010. № 2. С. 142–144.  
Agadzhanian N. A. The impact of external factors on the formation of adaptive reactions of the human body. *Novye tekhnologii* [New Technologies]. 2010, 2, pp. 142–144. [In Russian]
2. Грибанов А. В., Гудков А. Б., Попова О. Н., Крайнова И. Н. Кровообращение и дыхание у школьников в циркумполярных условиях. Архангельск: САФУ, 2016. 270 с.  
Gribanov A. V., Gudkov A. B., Popova O. N., Krainova I. N. *Krovoobrashchenie i dykhanie u shkol'nikov v tsirkumpolyarnykh usloviyakh* [Blood circulation and respiration in schoolchildren in circumpolar conditions]. Arkhangelsk, 2016, 270 p.
3. Грибанов А. В. Фотопериодизм и изменения биоэлектрической активности головного мозга у школьников в Арктической зоне // Физиология человека. 2016. Т. 42, № 2. С. 16–26. doi: 10.1134/S0362119716020067  
Gribanov A. V. Photoperiodism and changes in the

bioelectrical activity of the brain in schoolchildren in the Arctic zone. *Fiziologiya cheloveka*. 2016, 42 (2), pp. 16–26. doi: 10.1134/S0362119716020067

4. Гудков А. Б., Щербина Ф. А., Чупакова Л. В., Попова О. Н., Федотов Д. М. Сезонная функциональная организация системы внешнего дыхания у детей старшего школьного возраста, жителей Арктического региона // Якутский медицинский журнал. 2019. № 2 (66). С. 79–82. doi: 10.25789/YMJ.2019.66.24

Gudkov A. B., Shcherbina F. A., Chupakova L. V., Popova O. N., Fedotov D. M. Seasonal functional organization of the external respiration system in children of senior school age, residents of the Arctic region. *Yakutskiy meditsinskiy zhurnal* [Yakut medical journal]. 2019, 2 (66), pp. 79–82. doi: 10.25789/YMJ.2019.66.24. [In Russian]

5. Гудков А. Б., Теддер Ю. Р. Характер метаболических изменений у рабочих при экспедиционно-вахтовом режиме труда в Заполярье // Физиология человека. 1999. Т. 25, № 3. С. 370–373.

Gudkov A. B., Tedder Yu. R. Metabolic changes in workers under conditions of expedition shift schedule beyond polar circle. *Fiziologiya cheloveka*. 1999, 25 (3), pp. 370–373. [In Russian]

6. Гришин О. В. Механизмы адаптивного снижения энергообмена // Материалы докладов IV съезда физиологов Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск, 2002. С. 64.

Grishin O. V. Mechanisms of adaptive decrease in energy exchange. In: *Materials of reports of the IV Congress of physiologists of Siberia and the Far East*. Novosibirsk, 2002, 64 p. [In Russian]

7. Заморский И. И. Функциональная организация фотопериодической системы головного мозга // Успехи физиологических наук. 2003. Т. 34, № 4. С. 37–53.

Zamorskij I. I. Functional organization of the photoperiodic system of the brain. *Uspekhi Fiziologicheskikh Nauk*. 2003, 34 (4), pp. 37–53. [In Russian]

8. Кочан Т. И. Годовой мониторинг влияния условий Севера на метаболизм и функционирование сердечно-сосудистой системы человека // Успехи физиологических наук. 2007. Т. 38, № 1. С. 55–65.

Kochan T. I. Annual monitoring of the influence of northern conditions on the metabolism and functioning of the human cardiovascular system. *Uspekhi Fiziologicheskikh Nauk*. 2007, 38 (1), pp. 55–65. [In Russian]

9. Кочан Т. И., Шадрин В. Д., Потолщина Н. Н. Комплексная оценка влияния условий Севера на обмен веществ, физиологическое и психоэмоциональное состояние человека // Физиология человека. 2008. Т. 34, № 3. С. 106–113.

Kochan T. I., Shadrina V. D., Potolicina N. N. Comprehensive assessment of the influence of northern conditions on metabolism, physiological and psychoemotional state of man. *Fiziologiya cheloveka*. 2008, 34 (3), pp. 106–113. [In Russian]

10. Максимов А. Л., Голубев В. Н., Носов В. Н. Подходы к оценке региональной нормы реакции и адаптации физиологических систем организма у человека на Севере // Вестник ДВО РАН. 2007. № 6. С. 56–64.

Maksimov A. L., Golubev V. N., Nosov V. N. Approaches to the assessment of the regional reaction rate and adaptation of the physiological systems of the human body in the North. *Vestnik DVO RAN* [Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences]. 2007, 6, pp. 56–64. [In Russian]

11. Рожков В. П., Бекшаев С. С., Сороко С. И. Сезонные перестройки гемодинамики и биоэлектрической активности мозга у детей и подростков Европейского Се-

вера // Ульяновский медико-биологический журнал. 2012. № 3. С. 104–115.

Rozhkov V. P., Bekshaev S. S., Soroko S. I. Seasonal changes in hemodynamics and bioelectrical activity of the brain in children and adolescents of the European North. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal* [Ulyanovsk Medico-biological Journal]. 2012, 3, pp. 104-115. [In Russian]

12. Фокин В. Ф. Энергетическая физиология мозга. М.: Антидор, 2003. 288 с.

Fokin V. F. *Energeticheskaya fiziologiya mozga* [Energetic physiology of the brain]. Moscow, Antidor Publ., 2003, 288 p.

13. Хронобиология и хрономедицина / под ред. С. И. Рапопорта, В. А. Фролова, Л. Г. Хетагуровой. М.: МИА, 2012. 480 с.

*Chronobiology and chronomedicine*. Eds. C. I. Rapoport, V. A. Frolov, L. G. Hetagurova. Moscow, 2012, 480 p. [In Russian]

14. Щербина Ф. А., Щербина А. Ф., Щербина Ю. Ф. Дыхание человека в Арктике в сезоны световой аперииодичности: монография. Архангельск, 2018. 134 с.

Shcherbina F. A., Shcherbina A. F., Shcherbina Yu. F. *Dykhaniye cheloveka v Arktike v sezony svetovoy aperiodichnosti* [Human breathing in the Arctic during seasons of light aperiodicity]. Arkhangelsk, 2018, 134 p. [In Russian]

15. Arendt J. Biological Rhythms During Residence in Polar Regions. *Chronobiology International*. 2012, 29 (4), pp. 379-394. doi: 10.3109/07420528

16. Delahajj R., Gaillard A. W. K., Dam K. Hardiness and the response to stressful situations: Investigating mediating

processes. *Personality and Individual Differences*. 2010, 49 (5), pp. 386-390. doi: 10.1016/j.paid.2010.04.002

17. Foster R.G., Roenneberg T. Human responses to the geophysical daily, annual and lunar cycles. *Current Biology*. 2008, 18 (17), pp. 784-794.

18. Korf H. W. Signaling pathways to and from the hypophysial pars tuberalis, an important center for the control of seasonal rhythms. *General and Comparative Endocrinology*. 2018, 258, pp. 236-243. doi: 10.1016/j.ygcen.2017.05.011

19. Sawatzky A., Cunsolo A., Jones-Bitton A., Middleton J., Harper S.L. Responding to Climate and Environmental Change Impacts on Human Health via Integrated Surveillance in the Circumpolar North: A Systematic Realist Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018, 15 (12), p. 2706. doi: 10.3390/ijerph15122706

20. Voipio J., Tallgren P., Heinonen E. Milivolt-Scale DC Shifts in human Scalp EEG: Evidence for a Nonneuronal Generation. *Neurophysiology*. 2003, 89, pp. 1-13. doi: 10.1152/jn.00915.2002

#### Контактная информация:

Котцова Ольга Николаевна — аспирант кафедры биологии человека и биотехнических систем Высшей школы естественных наук и технологий ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова»

Адрес: 163000, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, д. 17

E-mail: olgank29@mail.ru