

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco456469>

Влияние солнечной активности и географической широты на генетический гомеостаз соматических клеток человека

В.Н. Калаев¹, В.П. Зуевский², М.С. Нечаева³, Н.Н. Ильинских⁴, Е.Н. Ильинских⁴,
А.О. Лантушенко⁵, О.С. Корнеева⁶, Т.В. Зуевская², А.В. Ларина¹, Е.Н. Шипилова⁶,
В.А. Гаврилова⁵, Д.Ю. Баранов⁵, И.В. Дегтяр (Скуратовская)⁵

¹ Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация;

² Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, Ханты-Мансийск, Российская Федерация;

³ Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко, Воронеж, Российская Федерация;

⁴ Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Российская Федерация;

⁵ Севастопольский государственный университет, Севастополь, Российская Федерация;

⁶ Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Проведено исследование связи генетической стабильности соматических клеток человека с солнечной активностью в зависимости от географической широты. В качестве метода оценки генетического гомеостаза выбран микроядерный тест буккального эпителия человека.

Цель. Изучить влияние солнечной активности на генетическую стабильность соматических клеток человека, оцененную с помощью микроядерного теста в буккальном эпителии, в зависимости от географического местонахождения испытуемых.

Методы. В качестве испытуемых были выбраны мужчины в возрасте от 18 до 21 года, без вредных привычек, не принимавшие лекарственные препараты в течение ближайшего к моменту забора проб времени. Исследования проводили одновременно в четырёх городах Российской Федерации (Севастополь, Воронеж, Томск, Ханты-Мансийск). Изучено влияние трёх типов солнечных вспышек, классификация которых основана на изменениях амплитуды теплового рентгеновского всплеска. Сбор материала для цитогенетического исследования осуществляли на 3-, 7- и 10-й день после солнечной вспышки. В качестве метода оценки генетического гомеостаза был выбран микроядерный тест буккального эпителия человека. На каждом препарате просматривали не менее 1000 клеток, среди которых определяли количество клеток с микроядрами, перинуклеарными вакуолями, насечками, протрузиями типа «разбитое яйцо» и «язык», кариорексисом, кариолизисом, кариопикнозом. Проанализировано 495 тыс. клеток буккального эпителия. Статистическая обработка результатов исследований проведена с использованием пакетов программ Stadia и Statistica. Влияние факторов определяли с помощью многофакторного дисперсионного анализа и двухфакторного дисперсионного анализа с фиксированными эффектами.

Результаты. Выявлено, что солнечная активность отражается на стабильности генетического аппарата человека, усиливая влияние загрязнённости города и его географического расположения на количество клеток с нарушениями ядра. Показано совместное влияние солнечной вспышки и сезона её возникновения на количество клеток с аберрациями ядра (наибольшее количество ядерных аномалий зафиксировано зимой). При этом самостоятельного влияния солнечной активности на число клеток с ядерными нарушениями не выявлено. Так, спустя 3, 7, 10 и 17 дней после вспышки не зарегистрировано увеличения числа клеток с аномалиями ядра.

Заключение. Наибольшее количество клеток с нарушениями ядра отмечается в Севастополе, что связано с наиболее высоким антропогенным загрязнением данного города по сравнению с остальными городами. Солнечная активность усиливает влияние загрязнённости города и его географического расположения на количество клеток с нарушениями ядра. Полученные результаты можно использовать при проведении микроядерного теста буккального эпителия человека и при планировании мероприятий по оценке генотоксичности окружающей среды.

Ключевые слова: микроядерный тест; аномалии клеточного ядра; солнечная активность.

Как цитировать:

Калаев В.Н., Зуевский В.П., Нечаева М.С., Ильинских Н.Н., Ильинских Е.Н., Лантушенко А.О., Корнеева О.С., Зуевская Т.В., Ларина А.В., Шипилова Е.Н., Гаврилова В.А., Баранов Д.Ю., Дегтяр (Скуратовская) И.В. Влияние солнечной активности и географической широты на генетический гомеостаз соматических клеток человека // Экология человека. 2023. Т. 30, № 7. С. 551–565. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco456469>

Рукопись получена: 25.05.2023

Рукопись одобрена: 25.09.2023

Опубликована online: 10.11.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco456469>

Effects of solar activity and geographic latitude on genetic homeostasis of human somatic cells

Vladislav N. Kalaev¹, Vladislav P. Zuevsky², Marina S. Nechaeva³, Nikolay N. Ilyinskikh⁴, Ekaterina N. Ilyinskikh⁴, Anastasiya O. Lantushenko⁵, Olga S. Korneeva⁶, Tatiana V. Zuevskaya², Anna V. Larina¹, Evgeniya N. Shipilova⁶, Valentina A. Gavrilova⁵, Denis Yu. Baranov⁵, Irina V. Degtyar (Skuratovskaya)⁵

¹ Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation;

² Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russian Federation;

³ N.N. Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, Russian Federation;

⁴ National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation;

⁵ Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation;

⁶ Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Associations between genetic stability of human somatic cells and solar activity across latitudes have been studied. A human buccal epithelium micronucleus test was selected as a method for evaluating genetic homeostasis.

AIM: To assess effects of solar activity on the genetic stability of human somatic cells using the micronucleus test in buccal epithelium in relation to the geographical location of subjects.

METHODS: Men aged 18 to 21 years with no harmful habits and taking no medication comprised the sample. Studies were conducted simultaneously in four cities of the Russian Federation: Sevastopol, Voronezh, Tomsk, and Khanty-Mansiysk. The effect of three types of solar flares, whose classification is based on changes in the amplitude of the thermal X-ray burst, was studied. Material for the cytogenetic study was collected on days 3, 7, and 10 after the solar flare. The human buccal epithelium micronucleus test was selected as a method to evaluate genetic homeostasis. At least 1,000 cells were examined on each preparation, among which the number of cells with micronuclei, perinuclear vacuoles, notches, “broken egg” and “tongue” type protrusions, karyorexis, karyolysis, and karyopyknosis was determined. In total, 495 thousand buccal epithelial cells were analyzed. Statistical processing of the data was performed using “Stadia” and “Statistica” software packages. Effects of solar and latitude on genetic homeostasis of somatic cells was performed using multivariate analysis of variance and two-factor analysis of variance with fixed effects.

RESULTS: Solar activity affected the stability of the human genetic apparatus by increasing the influence of the city pollution and its geographical location on the number of cells with nucleus abnormalities. We also observed a combined effect of solar flare and season on the number of cells with nucleus aberrations. More nuclear anomalies were registered in the winter. We did not detect any difference in the number of cells with nucleus anomalies on the 3rd, the 7th, the 10th, and the 17th days after the flare suggesting no associations between solar activity and the number of cells with nuclear abnormalities.

CONCLUSION: The highest number of cells with nucleus abnormalities is observed in Sevastopol reflecting with the greatest level of anthropogenic pollution of this city compared to the other locations. Solar activity increases the influence of the city pollution and its geographical location on the number of cells with nucleus abnormalities. The results obtained can be used in conducting a micronucleus test of human buccal epithelium and in planning measures to assess the genotoxicity of the environment.

Keywords: micronucleus test; cell nucleus abnormalities; solar activity.

To cite this article:

Kalaev VN, Zuevsky VP, Nechaeva MS, Ilyinskikh NN, Ilyinskikh EN, Lantushenko AO, Korneeva OS, Zuevskaya TV, Larina AV, Shipilova EN, Gavrilova VA, Baranov DY, Degtyar (Skuratovskaya) IV. Effects of solar activity and geographic latitude on genetic homeostasis of human somatic cells. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(7):551–565. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco456469>

Received: 25.05.2023

Accepted: 25.09.2023

Published online: 10.11.2023

ВВЕДЕНИЕ

Еще в 30-х годах прошлого века известный биофизик и основоположник гелиобиологии А.Л. Чижевский выявил закономерности влияния солнечной активности на биологические объекты. В своём труде «Земное эхо солнечных бурь» он описал корреляцию максимумов солнечной активности и массовых катаклизмов на нашей планете [1].

Под солнечной активностью понимают комплекс различных явлений, которые связаны с изменениями электромагнитного излучения Солнца. Солнечная вспышка — это чрезвычайно мощный взрыв в солнечной атмосфере. Физически вспышка является откликом солнечной атмосферы на внезапный быстрый процесс выделения энергии, по всей вероятности магнитного происхождения. Отклик затрагивает в основном хромосферу и корону. Выделение энергии приводит прежде всего к локализованному временному нагреву (тепловая вспышка), а также к ускорению частиц (электронов, протонов и более тяжёлых ионов) [2].

В настоящее время известно, что солнечная активность способна оказывать влияние на физиологическое состояние организма, в частности на биоэлектрическую активность головного мозга и умственную работоспособность [3], состояние сердечно-сосудистой [4, 5] и нервной [5] систем. Рассматривают солнечную активность и как возможный фактор социально-политической дестабилизации [6]. При этом влияние солнечной активности на генетическую стабильность человека изучено мало. П.Е. Григорьевым и соавт. [7] были оценены гелиогеофизические факторы риска возникновения хромосомных нарушений, таких как синдром Дауна. По данным авторов, повышение солнечной активности на третьей и первой неделях до зачатия и в период со второй половины предыдущего менструального цикла до зачатия повышает риск возникновения хромосомных нарушений. Ранее было показано, что солнечная ультрафиолетовая радиация способна индуцировать мутационные процессы ДНК, ведущие к нарушению пролиферации клеток и возникновению меланом — злокачественных новообразований кожи [8].

В связи с вышеизложенным представляется интересным исследование влияния солнечной активности на генетический гомеостаз соматических клеток человека.

В качестве метода оценки генетической стабильности организма может быть использован микроядерный тест буккального эпителия человека. Данный тест является сравнительно простым, быстрым, неинвазивным, информативным и экономически выгодным методом, позволяющим проводить прижизненный скрининг обследуемых лиц необходимое число раз. Он применяется для выявления мутагенных эффектов антропогенного загрязнения окружающей среды, профессиональных вредностей, заболеваний различной этиологии, вредных привычек, мутаций генов репарации и детоксикации ксенобиотиков и других факторов экзогенной и эндогенной природы [9].

Интересным также представляется вопрос о роли географической широты, на которой проживают испытуемые. Известно, что толщина атмосферы снижается к полюсам и повышается к экватору [10]. Толщина слоя влияет на количество заряженных частиц, достигающих нижних слоев атмосферы, и их энергию, а следовательно — на вызываемые ими биологические эффекты. В связи с этим можно предположить, что чем ближе к полюсу расположен город, тем более сильное влияние солнечная активность будет оказывать на проживающих в нём людей.

Ранее было показано, что антропогенное загрязнение способно оказывать влияние на генетическую стабильность организма человека [11, 12]. Возникает вопрос о модулирующем влиянии данного фактора при исследовании эффектов солнечной активности на генетический аппарат испытуемых.

Цель. Выявление влияния солнечной активности на генетическую стабильность соматических клеток человека, оцененную с помощью микроядерного теста в буккальном эпителии, в зависимости от географического местонахождения испытуемых.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве испытуемых были выбраны лица мужского пола в возрасте от 18 лет до 21 года, без вредных привычек (курение, алкоголь, и т.п.), не принимавшие лекарственные препараты в течение времени, ближайшего к моменту забора проб. Формирование выборки исключительно из мужчин связано с тем фактом, что гормональный фон оказывает существенное влияние на многие показатели организма человека. Уровень половых гормонов у женщин репродуктивного возраста изменяется в течение менструального цикла, что может оказывать влияние на стабильность генетического аппарата и приведёт к необходимости учитывать эту составляющую при анализе полученных результатов. Все участники до включения в исследование добровольно подписали форму информированного согласия, утверждённую этическим комитетом БУ ВО ХМАО-Югры «Ханты-Мансийская государственная медицинская академия» в составе протокола № 24 от 22.11.2016.

Исследования проводили одновременно в четырёх городах Российской Федерации (Севастополь, Воронеж, Томск, Ханты-Мансийск). В каждом из городов испытуемые проживали на территории одного общежития.

Севастополь находится на 44°35'19" с.ш., Воронеж — 51°40'19" с.ш., Томск — 56°29'51" с.ш., Ханты-Мансийск — 61°00'15" с.ш. [13]. Таким образом, толщина атмосферы над Севастополем и Воронежем, которые расположены южнее, больше, чем над Томском и Ханты-Мансийском, которые расположены ближе к Северному полюсу.

В представленных городах сложилась неодинаковая экологическая ситуация. Наиболее сложная

обстановка — в Севастополе, так как в нём находятся Балаклавское рудоуправление, предприятия судостроения, авиационной промышленности. Затем по уровню загрязнения следует Ханты-Мансийск, после него — Воронеж и самым благоприятным по состоянию окружающей среды является Томск [14].

Исследовано влияние трёх типов солнечных вспышек, классификация которых основана на изменениях амплитуды теплового рентгеновского всплеска. По этой классификации солнечной вспышке присваивается обозначение латинской буквой (A, B, C, M, X) в зависимости от величины излучения [15]. Данные об интенсивности вспышек взяты с сайта лаборатории рентгеновской астрономии Солнца ФИАН [16]. C-вспышка произошла 28 февраля 2017 г., её интенсивность составляла около $1 \cdot 10^{-6}$ Вт/м². В данный период нами были проанализированы образцы из Воронежа, Севастополя, Томска и Ханты-Мансийска. M-вспышка произошла 28 марта 2017 г., её интенсивность составила около $1 \cdot 10^{-5}$ Вт/м². Был проведён анализ образцов из Воронежа, Севастополя и Ханты-Мансийска. X-вспышка произошла 6 сентября 2017 г., интенсивность — более $1 \cdot 10^{-3}$ Вт/м². Проанализированы образцы из Воронежа, Севастополя и Томска.

Сбор материала для цитогенетического исследования осуществляли на 3-, 7- и 10-й день после солнечной вспышки. 10 сентября 2017 г. произошла ещё одна X-вспышка мощностью около $1 \cdot 10^{-3}$ Вт/м², поэтому материал был собран также на 17-й день после вспышки. Проанализированы образцы из Воронежа, Севастополя и Томска. Сбор образцов в данные периоды времени обусловлен тем, что слизистая оболочка внутренней стороны щеки человека представлена многослойным плоским неороговевающим эпителием, который обновляется за счёт деления базального слоя. Клетки базального слоя выходят в поверхностные слои только через 3–7 сут и могут быть использованы для микроядерного анализа [9]. Стоит также учитывать, что после вспышки поток ионизированных частиц — солнечный ветер — достигает Земли через 2–3 сут [2]. Таким образом, результаты, полученные при анализе материалов, собранных на 7-й день после вспышки, должны отражать влияние солнечной активности на генетическую стабильность соматических клеток человека.

Изготовление препаратов осуществляли по описанной ранее методике [9]. Шпателем, предварительно обработанным спиртом, делали соскоб со слизистой оболочки обеих щёк выше линии смыкания зубов. Мазки высушивали на воздухе, а затем окрашивали водным раствором азур-эозина по Романовскому-Гимзе (ОАО «ПО ТОС», Россия) в концентрации 1:5 в течение 20 мин при комнатной температуре, затем накрывали препарат покровными стеклами и убирали излишки красителя фильтровальной бумагой. Для анализа отбирали отдельно лежащие неповреждённые клетки. Анализ препаратов осуществляли на микроскопе LABOVAL-4 (Carl Zeiss, Германия) при увеличении $40 \times 1,5 \times 10$.

На каждом препарате просматривали не менее 1000 клеток, среди которых определяли количество клеток с микроядрами, перинуклеарными вакуолями, насечками, протрузиями типа «разбитое яйцо» и «язык», кариорексисом, кариолизисом, кариопикнозом [17]. Указанные нарушения имеют различную природу. Всего было проанализировано 495 тыс. клеток буккального эпителия.

Микроядра представляют собой ацентрические хромосомные фрагменты и отдельные целые хромосомы, потерянные во время митоза. За микроядра принимали хроматиновое тело округлой или овальной формы с гладким непрерывным краем, размером не более 1/3 ядра, лежащее чётко отдельно от ядра, не преломляющее свет, имеющее интенсивность окрашивания и рисунок хроматина, как у основного ядра, и находящееся в одной плоскости с ядром. Протрузии типа «разбитое яйцо» и «язык» выглядят как микроядро, связанное мостиками нуклеоплазмы с основным ядром: протрузия типа «разбитое яйцо» — одним мостиком нуклеоплазмы, протрузия «язык» — двумя. Протрузии и микроядра относят к цитогенетическим нарушениям [9].

Ядра с круговой насечкой имеют центральную или частично смещённую к одному из полюсов борозду, как бы перетягивающую ядро. Данная аномалия образуется в процессе незавершённого митоза в результате повреждения веретена деления, при этом нарушена не только цитотомия, но и кариотомия [9]. Данная аномалия служит показателем пролиферации клетки [11].

Перинуклеарная вакуоль является «впячиванием» кариолеммы (ядерной оболочки) и образованием округлой зоны обесцвеченной цитоплазмы и кариоплазмы в окрашенных клетках, появляется в результате образования вакуоли в перинуклеарном пространстве. Она считается надёжным признаком некроза клетки и наблюдается при болезнях накопления, воспалении, а также после действия химических веществ и радиации. Данное нарушение относят к признакам ранней деструкции ядра [9].

Кариопикноз — уменьшение размера ядра не менее чем в 2 раза, с уплотнением, гомогенным и интенсивным окрашиванием. Кариорексис — изменение ядра в клетке, сопровождающееся распадом его на отдельные интенсивно окрашенные части с гомогенной структурой. Кариолизис — потеря способности к окрашиванию хроматина ядра с последующим полным его исчезновением. Кариопикноз, кариорексис и кариолизис относят к дегенеративным изменениям ядра, свидетельствующим об апоптозе клетки [9].

Наблюдаемые нарушения морфологии ядер у здоровых лиц можно связать со старением и естественной гибелью эпителиальных клеток ротовой полости [9].

Статистическая обработка результатов исследований проведена с использованием пакетов программ Stadia и Statistica. Группировка данных и их обработка изложены в работе А.П. Кулаичева [18]. Влияние факторов «сила вспышки», «день взятия пробы» и «город проведения исследований» исследовали с использованием

многофакторного дисперсионного анализа и двухфакторного дисперсионного анализа с фиксированными эффектами. Силу влияния вычисляли по Снедекору (%) [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В буккальном эпителии испытуемых обнаружены клетки с микроядрами, перинуклеарными вакуолями, насечками, протрузиями типа «язык» и «разбитое яйцо», кариорексисом, кариолизисом и кариопикнозом.

Многофакторный дисперсионный анализ показал влияние фактора «город проведения исследований» на частоту встречаемости всех видов аномалий ядра, кроме протрузии типа «язык», и фактора «сила вспышки» на возникновение всех учитываемых аномалий. Влияния фактора солнечной вспышки на число клеток с ядерными нарушениями не выявлено (табл. 1–3). Спустя 3, 7, 10 и 17 дней после вспышки не зафиксировано увеличения числа клеток с аномалиями ядра.

Выявлены совместные эффекты исследуемых факторов на стабильность генетического аппарата испытуемых. Показано влияние вида (силы) вспышки и сезона её возникновения (С-вспышка — зима, М-вспышка — весна, Х-вспышка — осень) на количество клеток с микроядрами, перинуклеарными вакуолями, насечками, протрузиями

типа «разбитое яйцо» и «язык», кариорексисом, кариолизисом, кариопикнозом. Данный факт может указывать на то, что цитогенетический эффект обусловлен не самой вспышкой на Солнце, а силой вспышки или сезоном года, в который она произошла (см. табл. 1–3). Диаграммы, построенные на основании полученных данных, демонстрируют общую тенденцию к снижению количества клеток с аномалиями от С- к Х-вспышке, что можно объяснить влиянием сезона года. Наибольшее количество нарушений наблюдалось у испытуемых, проживающих в Севастополе и Воронеже, наименьшее — в Томске и Ханты-Мансийске (рис. 1, 2).

Показано также одновременное воздействие сезона и дня взятия пробы на такие ядерные аномалии, как перинуклеарные вакуоли, протрузии типа «разбитое яйцо» и общее количество аберраций ядра (см. табл. 1–3).

Анализ совместного влияния факторов показал одновременный эффект географического расположения населённого пункта и дня взятия пробы, т.е. вспышки, на частоту встречаемости клеток с перинуклеарными вакуолями, микроядрами и протрузиями. В связи с этим можно предположить, что солнечная активность всё-таки оказывает определённые эффекты на стабильность генетического аппарата человека, усиливая влияние загрязнённости города и его географического расположения

Таблица 1. Влияние факторов «сила вспышки», «день взятия пробы» и «город проведения исследования» на частоту встречаемости аномалий ядра в клетках буккального эпителия человека (по результатам трёхфакторного дисперсионного анализа частот встречаемости ядерных аномалий в Севастополе и Воронеже при С-, М- и Х-вспышках на Солнце), *p*

Table 1. Associations between the factors “flare strength”, “day of sampling” and “city” and the frequency of nuclear anomalies in human buccal epithelial cells based on the results of a three-factor analysis of the frequency of nuclear anomalies in Sevastopol and Voronezh during C-, M- and X-flares on the Sun, *p*

Фактор Factor	Микро- ядро Micro- nucleus	Перину- клеарная вакуоль Perinuclear vacuole	Насечка Notch	Протрузия «Язык» Tongue protrusion	Протрузия «Разби- тое яйцо» Broken egg protrusion	Карио- рексис Karyorexis	Карио- лизис Karyo- lysis	Карио- пикноз Karyo- pynosis	Общее число нарушений Total num- ber of abnor- malities
Город City	Y 0,006	Y 1,41·10 ⁻¹⁴	Y 1,6·10 ⁻⁹	N 0,06	Y 2,76·10 ⁻⁶	Y 7,45·10 ⁻⁷	Y 0,002	Y 3,47·10 ⁻⁹	Y 9,1·10 ⁻¹⁵
Сила вспышки Flash power	Y 1,4·10 ⁻⁷	Y 6·10 ⁻⁹	Y 0,0009	Y 1,98·10 ⁻⁵	Y 0,001	Y 2·10 ⁻⁵	Y 4,45·10 ⁻⁵	Y 0,00014	Y 3,68·10 ⁻¹⁰
День Day	N 0,25	N 0,51	N 0,92	N 0,73	N 0,6	N 0,71	N 0,14	N 0,052	N 0,3
Город/Сила вспышки City/Flash power	—	5,5·10 ⁻⁵	—	—	0,021	—	—	—	—
Город/День City/Day	—	0,024	—	—	0,022	—	—	—	—
Сила вспышки/день Flash power/day	—	0,013	—	—	0,0058	—	—	—	0,028
Совместное влияние Combined effect	—	—	—	—	0,0054	—	—	—	—

Примечание: Y — есть связь между изучаемыми факторами; N — нет связи.
Note: Y — significant association between the studied factors; N — no association.

Таблица 2. Влияние факторов «сила вспышки», «день взятия пробы» и «город проведения исследования» на частоту встречаемости аномалий ядра в клетках буккального эпителия человека (по результатам трёхфакторного дисперсионного анализа частот встречаемости ядерных аномалий в Севастополе, Воронеже и Томске при С- и Х-вспышках на Солнце), *p*

Table 2. Associations between the factors “flare strength”, “day of sampling”, and “city of study” and the frequency of nuclear anomalies in human buccal epithelial cells (based on the results of a three-factor analysis of the frequency of nuclear anomalies in Sevastopol, Voronezh, and Tomsk during C- and X-flares on the Sun), *p*

Фактор Factor	Микро- ядро Micro- nucleus	Перину- клеарная вакуоль Peri- nuclear vacuole	Насечка Notch	Протрузия «Язык» Tongue protrusion	Протрузия «Разбитое яйцо» Broken egg protrusion	Карио- рексис Karyo- rexix	Карио- лизис Karyo- lysis	Карио- пикноз Karyo- pynosis	Общее число нарушений Total number of abnor- malities
Город City	Y 0,009	Y 5·10 ⁻⁹	Y 0,0007	N 0,33	N 0,34	Y 0,0008	Y 0,002	Y 8,9·10 ⁻⁵	Y 3,7·10 ⁻⁹ ; C=0,97
Сила вспышки Flash power	Y 2,8·10 ⁻¹³	Y 5·10 ⁻⁹	Y 2,2·10 ⁻⁸	Y 3,5·10 ⁻¹⁰	Y 8,5·10 ⁻⁹	Y 2,16·10 ⁻¹⁰	Y 9,2·10 ⁻¹⁰	Y 1,44·10 ⁻⁶	Y 1,1·10 ⁻¹³
День Day	N 0,12	N 0,57	N 0,94	N 0,98	Y 0,01	N 0,15	N 1	N 0,001	N 0,61
Город/Сила вспышки City/Flash power	—	—	—	—	0,019	—	—	—	—
Город/День City/Day	—	—	—	—	0,0099	—	—	—	—
Сила вспышки/день Flash power/day	—	0,013	—	—	0,025	—	—	—	0,02
Совместное влияние Combined effect	—	—	—	—	0,04	—	—	—	—

Примечание: Y — есть связь между изучаемыми факторами; N — нет связи.
Note: Y — significant association between the studied factors; N — no association.

Таблица 3. Влияние факторов «сила вспышки», «день взятия пробы» и «город проведения исследования» на частоту встречаемости аномалий ядра в клетках буккального эпителия человека (по результатам трёхфакторного дисперсионного анализа частот встречаемости ядерных аномалий в Севастополе, Воронеже и Ханты-Мансийске при С- и М-вспышках на Солнце), *p*

Table 3. Associations between the factors “flare strength”, “sampling day” and “city of study” and the frequency of nuclear anomalies in human buccal epithelial cells (based on the results of a three-factor analysis of the frequency of nuclear anomalies in Sevastopol, Voronezh and Khanty-Mansiisk during C- and M-flares on the Sun), *p*

Фактор Factor	Микро- ядро Micro- nucleus	Перину- клеарная вакуоль Perinuclear vacuole	Насечка Notch	Протрузия «Язык» Tongue protrusion	Протрузия «Разбитое яйцо» Broken egg protrusion	Карио- рексис Karyo- rexix	Карио- лизис Karyo- lysis	Карио- пикноз Karyo- pynosis	Общее число нарушений Total number of abnor- malities
Город City	Y 0,0005	Y 5,9·10 ⁻⁵	Y 0,0002	N 0,13	Y 0,0002	Y 0,03	Y 0,01	Y 0,002	Y 1,6·10 ⁻⁵
Сила вспышки Flash power	Y 2,15·10 ⁻¹⁴	Y 1,17·10 ⁻⁵	Y 1,9·10 ⁻⁸	Y 1,58·10 ⁻¹³	Y 1,05·10 ⁻⁸	Y 2,8·10 ⁻¹⁰	Y 2,19·10 ⁻¹¹	Y 6,8·10 ⁻⁸	Y 1,09·10 ⁻¹⁶
День Day	N 0,31	N 0,14	N 0,33	N 0,24	N 0,67	N 0,37	N 0,29	Y 0,03	N 0,16
Город/Сила вспышки City/Flash power	3·10 ⁻⁵	—	—	—	0,023	—	—	0,044	—
Город/День City/Day	4,6·10 ⁻⁴	—	—	—	0,0048	—	—	—	—
Сила вспышки/день Flash power/day	—	—	—	—	0,026	—	—	—	—
Совместное влияние Combined effect	0,0099	—	—	—	0,0057	—	—	—	—

Примечание: Y — есть связь между изучаемыми факторами; N — нет связи.
Note: Y — significant association between the studied factors; N — no association.

на количество клеток с нарушениями ядра (см. табл. 1–3, рис. 3–11).

Представленные данные после воздействия Х-вспышки указывают на увеличение количества ядерных

аномалий на 17-е сутки. Это связано с тем, что 10 сентября 2017 г. произошла ещё одна Х-вспышка мощностью около $1 \cdot 10^{-3}$ Вт/м², тем самым усилив эффект от первого роста солнечной активности.

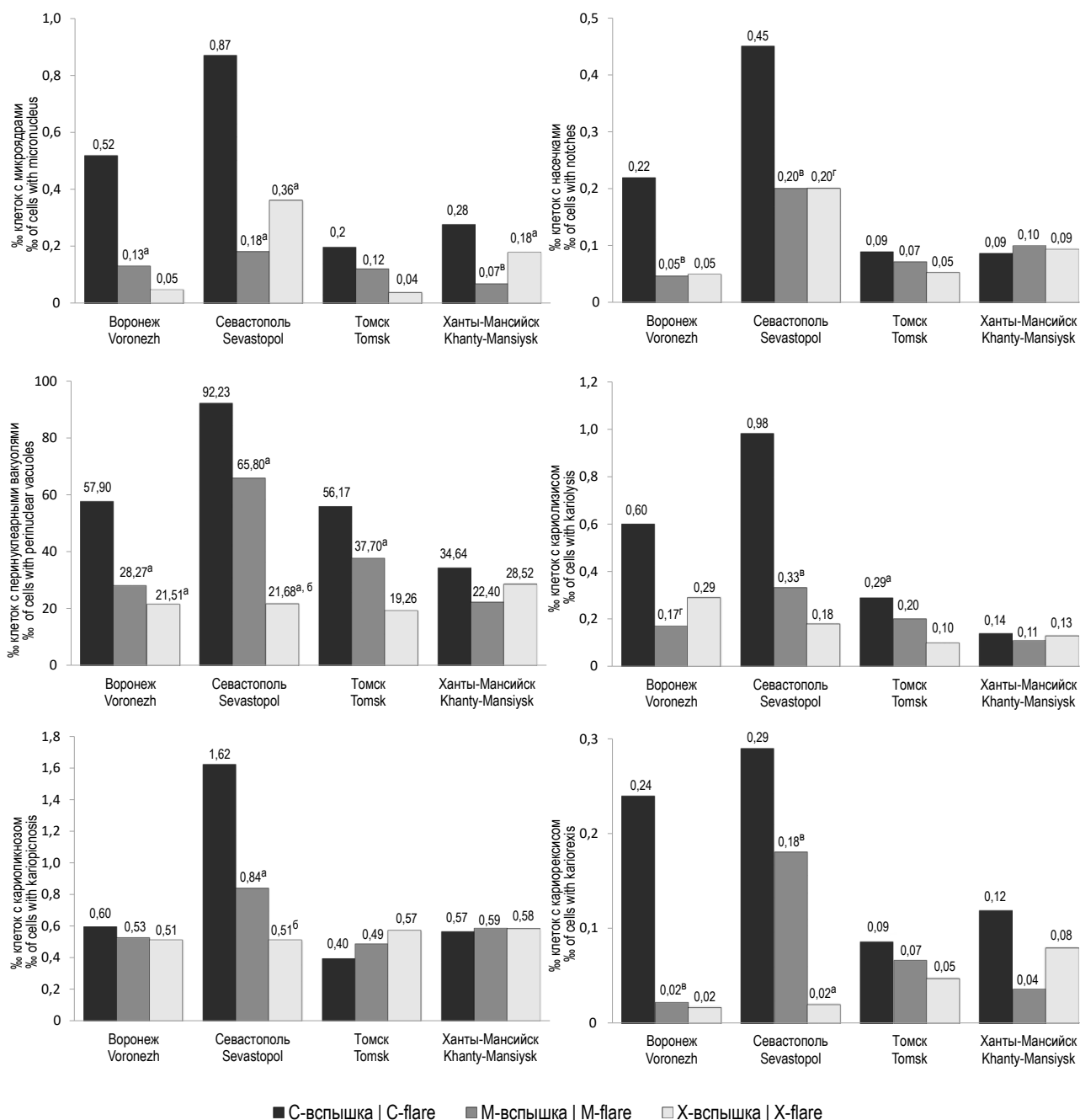


Рис. 1. Частота встречаемости клеток с аномалиями ядра в буккальных эпителиоцитах испытуемых (%) в зависимости от города проживания и сезона года.

Обозначения: *a* — различие с частотой встречаемости клеток с нарушениями, возникшими при С-вспышке, статистически значимо ($p < 0,001$); *b* — различие с частотой встречаемости клеток с нарушениями, возникшими при М-вспышке, статистически значимо ($p < 0,001$); *c* — различие с частотой встречаемости клеток с нарушениями, возникшими при С-вспышке, статистически значимо ($p < 0,01$); *z* — различие с частотой встречаемости клеток с нарушениями, возникшими при С-вспышке, статистически значимо ($p < 0,05$).

Fig. 1. Frequency of cells with nucleus abnormalities in buccal epitheliocytes of the subjects (%) depending on the city of residence and season of the year.

Designations: *a* — the difference with the frequency of occurrence of cells with abnormalities occurring in the C-flare is significant ($p < 0,001$); *b* — the difference with the frequency of cells with abnormalities occurring in the M-flare is significant ($p < 0,001$); *c* — the difference with the frequency of cells with abnormalities occurring at C-flare is significant ($p < 0,01$); *z* — the difference with the frequency of cells with abnormalities occurring at C-flare is significant ($p < 0,05$).

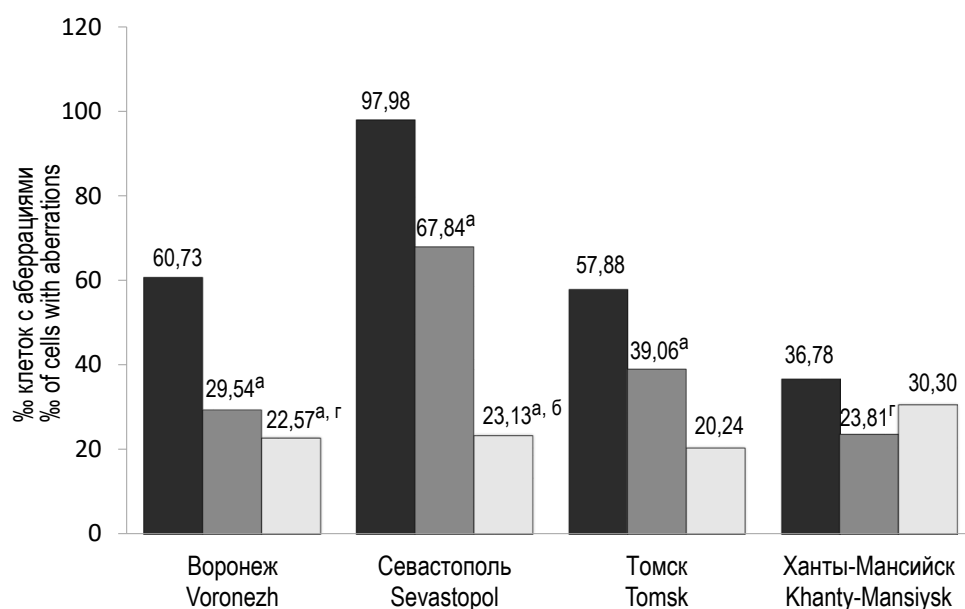


Рис. 2. Частота встречаемости клеток с различными аномалиями ядра в буккальных эпителиоцитах испытуемых (%) в зависимости от города проживания и сезона года.

Обозначения: *a* — различие с частотой встречаемости клеток с нарушениями, возникшими при С-вспышке, статистически значимо ($p < 0,001$); *б* — различие с частотой встречаемости клеток с нарушениями, возникшими при М-вспышке, статистически значимо ($p < 0,001$); *в* — различие с частотой встречаемости клеток с нарушениями, возникшими при С-вспышке, статистически значимо ($p < 0,05$).

Fig. 2. Frequency of cells with different nucleus abnormalities in buccal epitheliocytes of the subjects (%) depending on the city of residence and season of the year.

Designations: *a* — the difference with the frequency of cells with abnormalities occurring in the C-flare is significant ($p < 0.001$); *б* — the difference with the frequency of cells with abnormalities occurring in the M-flare is significant ($p < 0.001$); *в* — the difference with the frequency of cells with abnormalities occurring at C-flare is significant ($p < 0.05$).

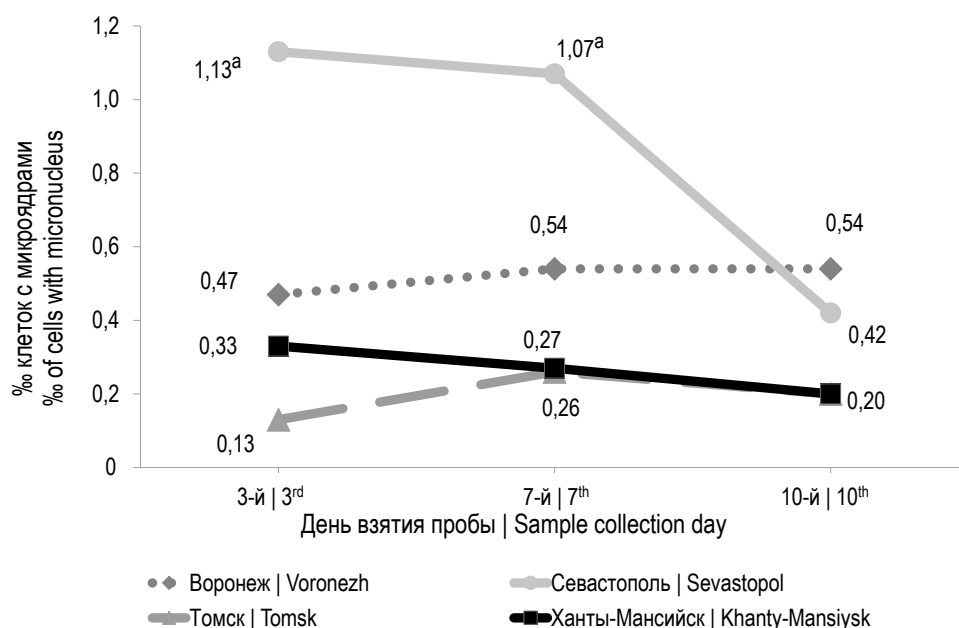


Рис. 3. Зависимость количества клеток с микроядрами (%) от дня взятия пробы в С-вспышке.

Обозначения: *a* — различие с частотой встречаемости клеток с нарушениями спустя 10 дней после воздействия вспышки статистически значимо ($p < 0,05$).

Fig. 3. Associations between the number of cells with micronuclei (%) and the day of sampling in the C-flare.

Notations: *a* — the difference with the frequency of cells with abnormalities 10 days after exposure to the flare is significant ($p < 0.05$).

ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам нашего исследования наибольшее количество клеток с нарушениями ядра отмечается у мужчин, проживающих в Севастополе, что связано с наиболее высоким антропогенным загрязнением данного города по сравнению с остальными городами. Это подтверждает ряд ранее проведённых исследований, указывающих на то, что антропогенное загрязнение воздействует на генетическую стабильность соматических клеток человека [11, 12].

Показано также, что влияние оказывает сезон года, в который произошла вспышка. Так, зимой, когда

иммунный статус организма ослаблен, отмечается большее количество эпителиоцитов с абберациями ядра, чем в конце лета, когда иммунная система более стабильна и уровень витаминов в организме выше. Исследования, проведённые ранее, подтверждают, что иммунная система и содержание в организме витаминов, а также сезон года способны оказывать влияние на генетический гомеостаз человека [9].

Самостоятельного влияния солнечной активности на число клеток с ядерными нарушениями не выявлено. Так, спустя 3, 7, 10 и 17 дней после вспышки не зафиксировано увеличения числа клеток с аномалиями ядра у исследуемых мужчин.

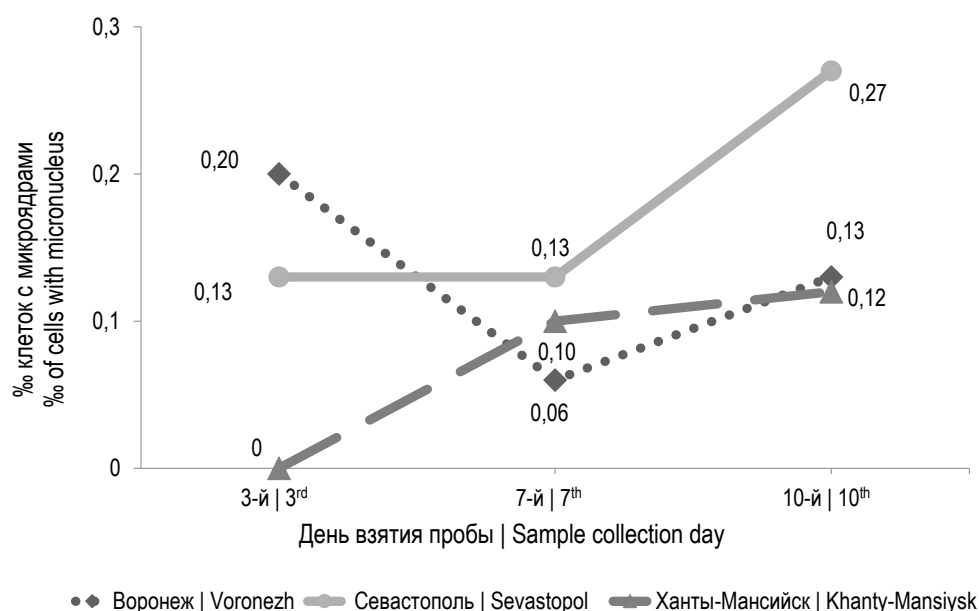


Рис. 4. Зависимость количества клеток с микроядрами (%) от дня взятия пробы в М-вспышке.

Fig. 4. Associations between the number of cells with micronuclei (%) and the day of sampling in the M-flare.

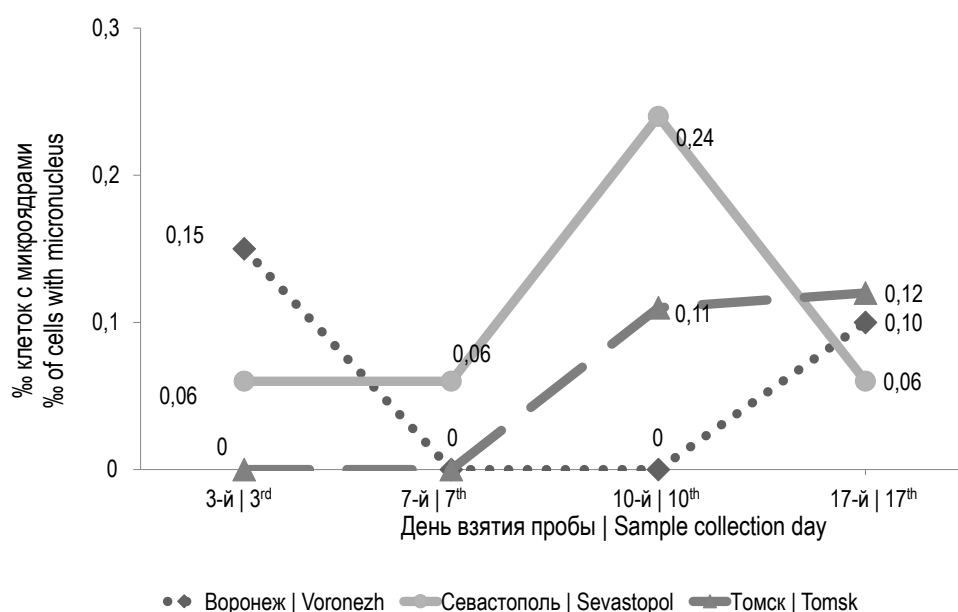


Рис. 5. Зависимость количества клеток с микроядрами (%) от дня взятия пробы в Х-вспышке.

Fig. 5. Associations between the number of cells with micronuclei (%) and the day of sampling in the X-flare.

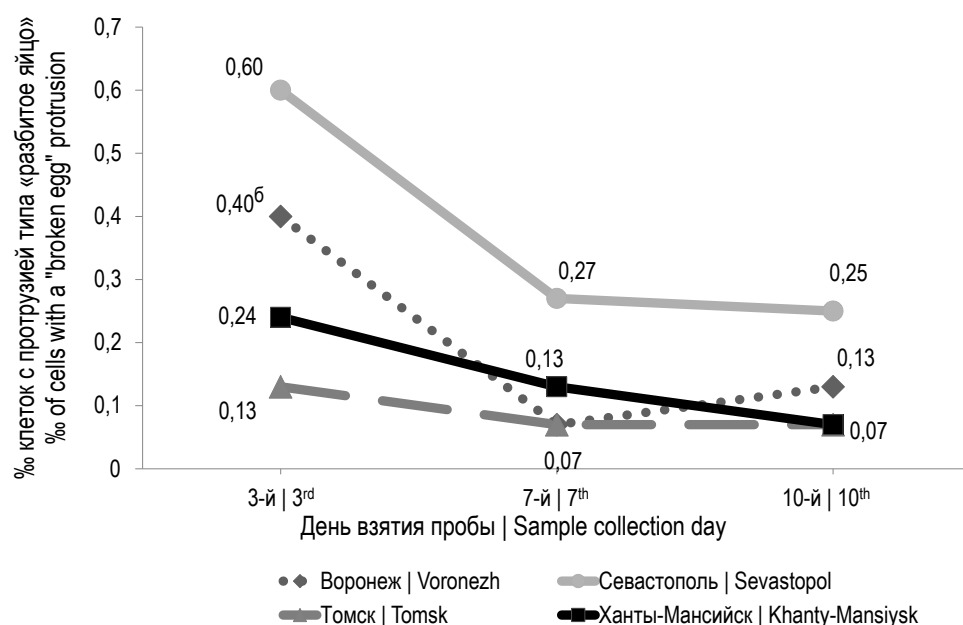


Рис. 6. Зависимость количества клеток с протрузиями типа «разбитое яйцо» (%) от дня взятия пробы в С-вспышке.

Обозначения: б — различие с частотой встречаемости клеток с нарушениями спустя 7 дней после воздействия вспышки статистически значимо ($p < 0,05$).

Fig. 6. Associations between the number of cells with “broken egg” type protrusions (%) and the day of sampling in the C-flare.

Notations: б — the difference with the frequency of cells with abnormalities 7 days after exposure to the flare is significant ($p < 0.05$).

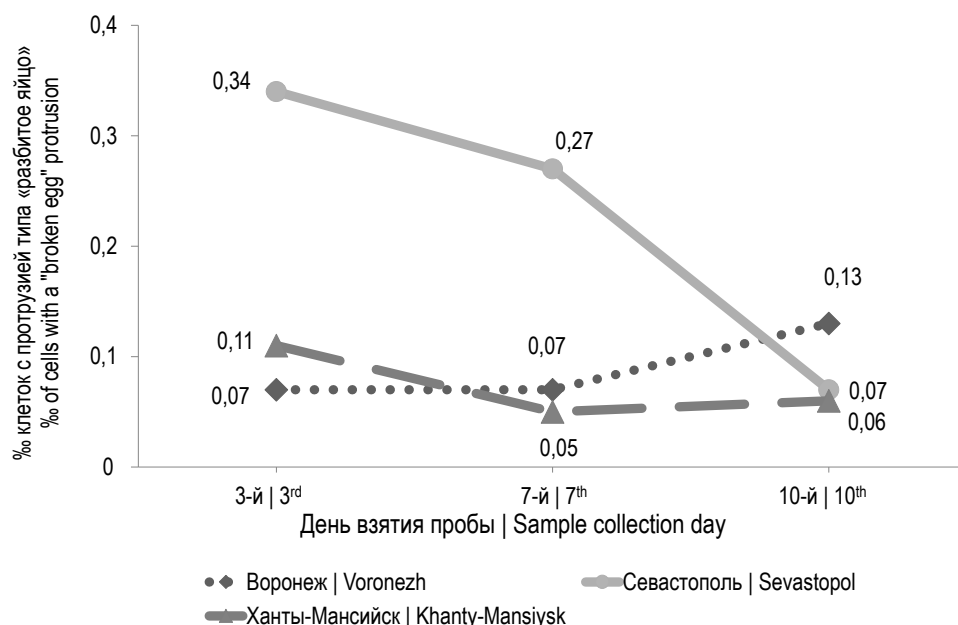


Рис. 7. Зависимость количества клеток с протрузиями типа «разбитое яйцо» (%) от дня взятия пробы в М-вспышке.

Fig. 7. Associations between the number of cells with “broken egg” type protrusions (%) and the day of sampling in the M-flare.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно предположить, что солнечная активность способна оказывать модулирующее действие на генетическую стабильность человека в городах с высоким уровнем антропогенного загрязнения. Выявлено, что солнечная активность усиливает влияние загрязнённости города и его географического расположения на количество клеток с нарушениями ядра. Полученные результаты можно

использовать при проведении микроядерного теста букального эпителия человека и при планировании мероприятий по оценке генотоксичности окружающей среды.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. В.Н. Калаев — набор материала для исследования, обзор литературы, сбор и анализ литературных источников,

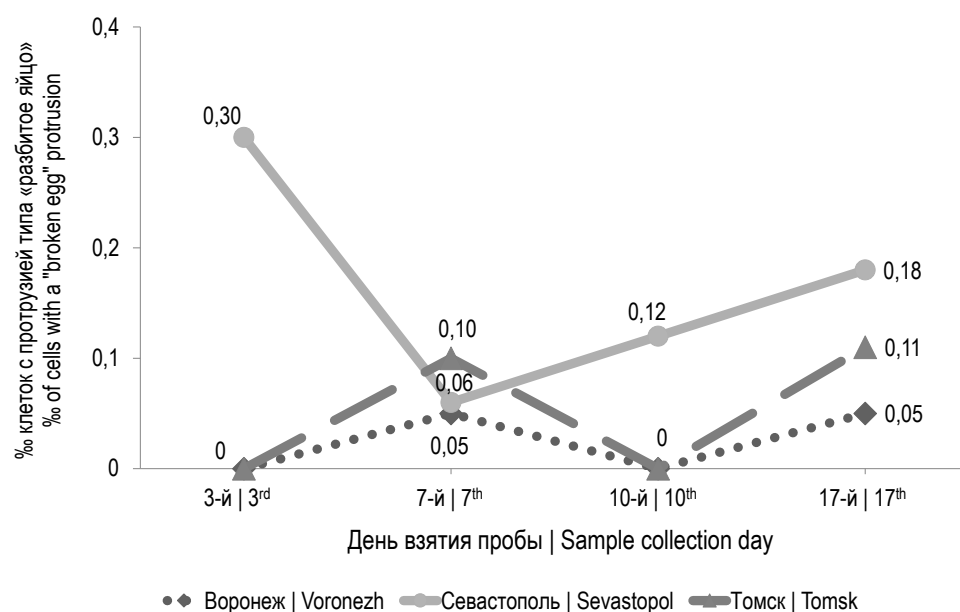


Рис. 8. Зависимость количества клеток с протрузиями типа «разбитое яйцо» (%) от дня взятия пробы в X-вспышке.
Fig. 8. Associations between the number of cells with “broken egg” type protrusions (%) and the day of sampling in the X-flare.

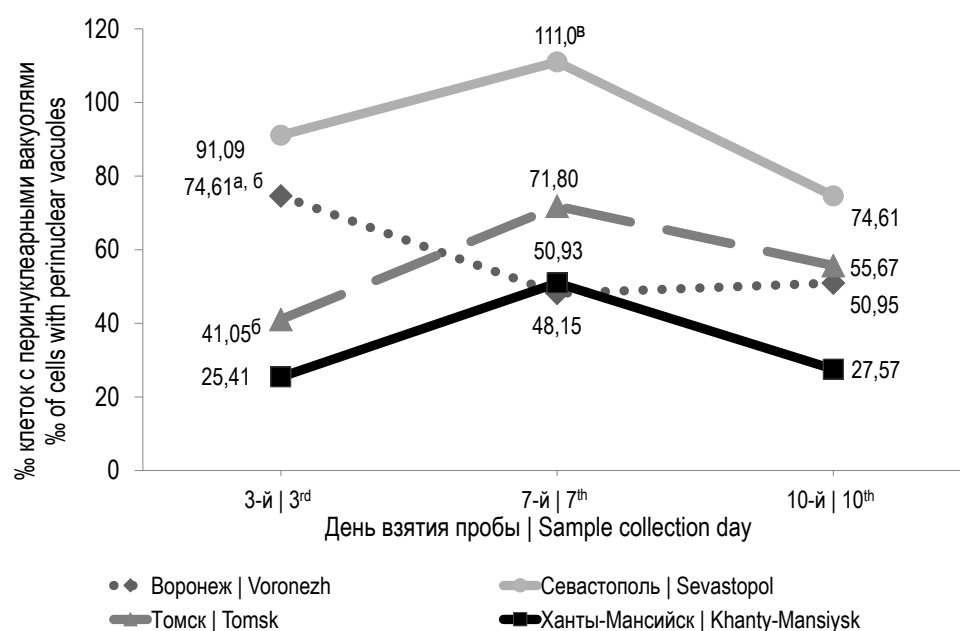


Рис. 9. Зависимость количества клеток с перинуклеарными вакуолями (%) от дня взятия пробы в С-вспышке.

Обозначения: *a* — различие с частотой встречаемости клеток с нарушениями спустя 10 дней после воздействия вспышки достоверно ($p < 0,05$); *б* — различие с частотой встречаемости клеток с нарушениями спустя 7 дней после воздействия вспышки достоверно ($p < 0,05$); *в* — различие с частотой встречаемости клеток с нарушениями спустя 10 дней после воздействия вспышки достоверно ($p < 0,01$).

Fig. 9. Associations between the number of cells with perinuclear vacuoles (%) and the day of sampling in the C-flare.

Notations: *a* — the difference with the frequency of cells with abnormalities 10 days after exposure to the flare is significant ($p < 0.05$); *б* — the difference with the frequency of cells with disorders 7 days after exposure to the flare is significant ($p < 0.05$); *в* — the difference with the frequency of cells with abnormalities 10 days after exposure to the flare is significant ($p < 0.01$).

написание текста и редактирование статьи; В.П. Зуевский, М.С. Нечаева — набор материала для исследования, обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи; Н.Н. Ильинских, Е.Н. Ильинских — набор материала для исследования, обработка данных, сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи; А.О. Лантушенко, О.С. Корнеева — набор

материала для исследования, обработка данных, сбор и анализ литературных источников, написание текста статьи; Т.В. Зуевская — набор материала для исследования, сбор и анализ литературных источников, написание текста статьи, редактирование статьи в соответствии с требованиями к публикации; А.В. Ларина, Е.Н. Шипилова, В.А. Гаврилова, Д.Ю. Баранов, И.В. Дегтяр (Скуратовская) — набор материала для исследования, обработка

данных, написание текста статьи. 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).

Источник финансирования. Не указан.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. V.N. Kalaev — collection of the material, literature review, literature review, drafting and editing the article; V.P. Zuevsky, M.S. Nechaeva — collection of the material, literature review, drafting the article; N.N. Ilyinsky, E.N. Ilyinsky — collection of the material, data analysis, literature review, drafting and editing the article; A.O. Lantushenko, O.S. Korneeva — collection of the material, data processing, literature review, drafting the

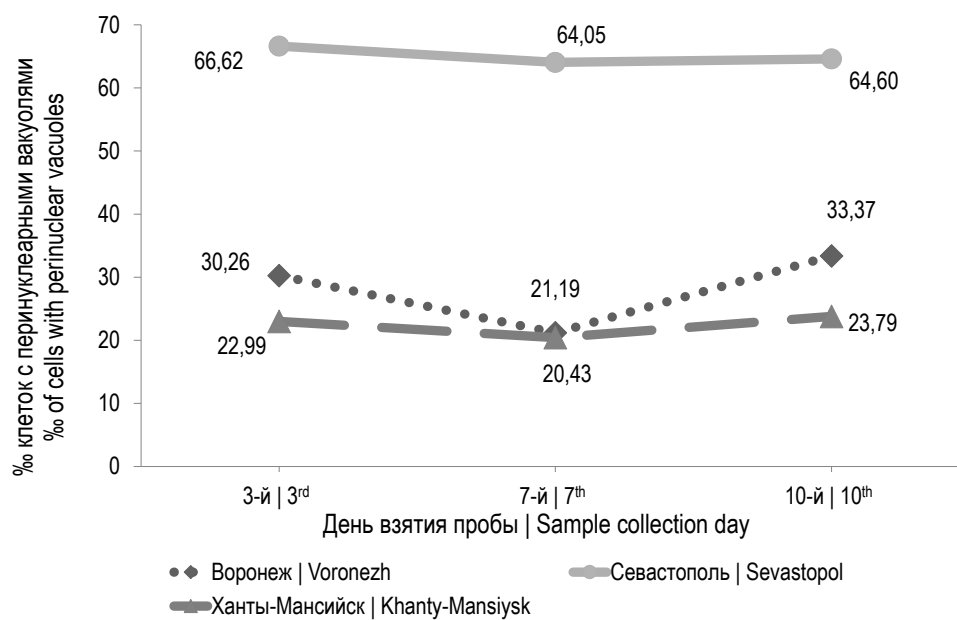


Рис. 10. Зависимость количества клеток с перинуклеарными вакуолями (‰) от дня взятия пробы в М-вспышке.

Fig. 10. Associations between the number of cells with perinuclear vacuoles (‰) and the day of sampling in the M-flare.

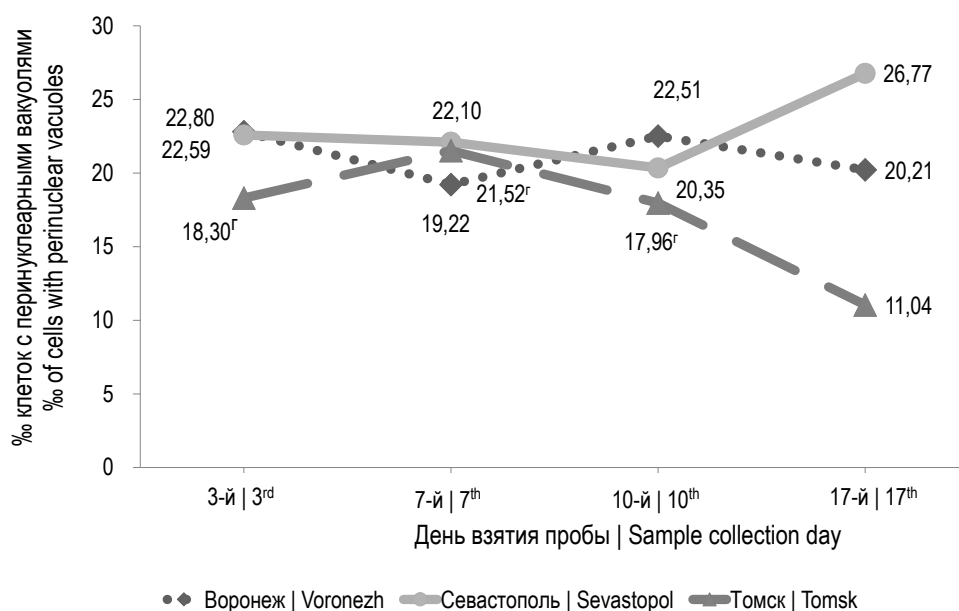


Рис. 11. Зависимость количества клеток с перинуклеарными вакуолями (‰) от дня взятия пробы в Х-вспышке.

Обозначение: ^z — различие с частотой встречаемости клеток с нарушениями спустя 17 дней после воздействия вспышки достоверно ($p < 0,01$).

Fig. 11. Associations between the number of cells with perinuclear vacuoles (‰) on the day of sampling in the X-flare.

Notation: ^z — the difference with the frequency of cells with abnormalities 17 days after exposure to the flare is significant ($p < 0.01$).

article; T.V. Zuevskaya — collection of the material, literature review, drafting and editing the article in accordance with the journal requirements; A.V. Larina, E.N. Shipilova, V.A. Gavrilova, D.Yu. Baranov, I.V. Degtyar (Skuratovskaya) — collection of the material, data processing, drafting the article. 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).

Funding source. Not specified.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чижевский А.Л. Земля и Космос. Земное эхо космических бурь. 3-е изд. [интернет]. Москва : Академический Проект, 2020. Дата обращения: 08.08.2023. Доступ по ссылке: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785829133818.html>
2. Мирошниченко Л.И. Солнечные космические лучи: 75 лет исследований // Успехи физических наук. 2018. Т. 188, № 4. С. 345–376. doi: 10.3367/UFNr.2017.03.038091
3. Ozheredov V.A., Breus T.K., Zeleny L.M. Connection between the Intellectual Excitability of Internet Users and Increases in Solar Activity // *Izv Atmos Ocean Phys.* 2020. Vol. 56. P. 1346–1358. doi: 10.1134/S0001433820110067
4. Гурфинкель Ю.И., Ожередов В.А., Бреус Т.К., Сасонко М.Л. Влияние космической и земной погоды на показатели жесткости артерий и функцию эндотелия человека // *Биофизика.* 2018. Т. 63, № 2. С. 402–411. doi: 10.1134/S0006350918020094
5. Эфендиева Л.Г., Азизов В.А., Етирмишли Г.Д. Влияние геофизических параметров на организм человека // *Медицинские новости.* 2020. № 1. С. 43–47.
6. Григорьев П.Е., Владимирский Б.М., Лускова Ю.С. Особенности военной и экономической динамики в Средние века и раннее Новое время в зависимости от космической погоды. Часть 1 // *Пространство и Время.* 2018. № 1-2. С. 289–294. doi: 10.24411/2226-7271-2018-11094
7. Григорьев П.Е., Афанасьева Н.А., Вайсерман А.М. Солнечная активность как фактор риска возникновения синдрома Дауна // *Экология человека.* 2009. № 11. С. 8–11.
8. Олисова О.Ю., Владимирова Е.В., Бабушкин А.М. Кожа и Солнце // *Российский журнал кожных и венерических болезней.* 2012. № 6. С. 57–62. doi: 10.17816/dv36783
9. Калаев В.Н., Нечаева М.С., Калаева Е.А. Микроядерный тест буккального эпителия ротовой полости человека: монография. Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2016. 136 с.
10. Мохов И.И., Тимажев А.В. Вертикальная температурная стратификация атмосферы в зависимости от продолжительности годового цикла инсоляции по расчетам с климатической моделью общей циркуляции // *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле.* 2020. Т. 494, № 2. С. 48–52. doi: 10.31857/S2686739720100072
11. Юрченко В.В., Ингель Ф.И., Малышева А.Г., и др. Влияние состава загрязнения атмосферного воздуха на генотоксические эффекты в эпителиоцитах щеки детей // *Гигиена и санитария.* 2022. Т. 101, № 2. С. 201–210. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-2-201-210
12. Vargas V.M.F., da Silva Júnior F.M.R., Silva Pereira T.D., et al. A comprehensive overview of genotoxicity and mutagenicity associated with outdoor air pollution exposure in Brazil // *J Toxicol Environ Health B Crit Rev.* 2023. V. 26, N 3. P. 172–199. doi: 10.1080/10937404.2023.2175092
13. Карта России с городами и регионами [карта]. Дата обращения: 23.06.2023. Доступ по ссылке: <https://yandex.ru/maps/225/russia/>
14. Экологический рейтинг субъектов Российской Федерации. Итоги осень 2017 г. Дата обращения: 23.06.2023. Доступ по ссылке: https://www.greenpatrol.ru/sites/default/files/prilozhenie_1._osen_2017.docx
15. Боровик А.В., Мордвинов А.В., Голубева Е.М., Жданов А.А. Реструктуризация магнитных полей Солнца и центры вспышечной активности в цикле 24 // *Астрономический журнал.* 2020. Т. 97, № 6. С. 521–528. doi: 10.31857/S0004629920070014
16. https://xras.ru/xras_laboratory.html [интернет]. ИКИ РАН и ИСЗФ СО РАН. Лаборатория рентгеновской астрономии Солнца ФИАН [дата обращения: 23.06.2023]. Доступ по ссылке: https://xras.ru/xras_laboratory.html
17. Соболева Н.А., Калаев В.Н., Нечаева М.С., Калаева Е.А. Определение минимального количества анализируемых буккальных эпителиоцитов на препарате при проведении микроядерного теста. // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация.* 2016. № 3. С. 80–84.
18. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных. Москва : ФОРУМ—ИНФРА-М, 2006. 512 с.

REFERENCES

1. Chizhevskij A.L. *Zemlja i Kosmos. Zemnoe jeha kosmicheskikh bur'.* 3-e izd. [Internet]. Moscow: Akademicheskij Proekt; 2020. [cited 08.08.2023]. Available from: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785829133818.html> (In Russ).
2. Miroshnichenko L.I. Solar cosmic rays: 75 years of research. *Physics-USpekhi.* 2018;61(4):323–352. doi: 10.3367/UFNr.2017.03.038091
3. Ozheredov VA, Breus TK, Zeleny LM. Connection between the Intellectual excitability of internet users and increases in solar activity. *Izv Atmos Ocean Phys.* 2020;56:1346–1358. doi: 10.1134/S0001433820110067
4. Gurfinkel YI, Sasonko ML, Ozheredov VA, Breus TK. The effects of space and terrestrial weather factors on arterial stiffness and endothelial function in humans. *Biophysics.* 2018;63(2):299–306. doi: 10.1134/S0006350918020094
5. Afendiyeva LG, Azizov VA, Eitimishli GD. Influence of geophysical parameters on the human body. *Meditinskije novosti.* 2020;(1):43–47.
6. Grigoryev PE, Vladimirskiy BM, Luskova YuS. Features of military and economic dynamics in the middle ages and early modern period depending on the space weather. Part 1. *Space and Time.* 2018;(1-2):289–294. doi: 10.24411/2226-7271-2018-11094

7. Grigoryev PYe, Afanasyeva NA, Vayserman AM. Solar activity as a hazard factor for a Down's syndrome. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2009;11:8–11.
8. Olisova O, Vladimirova EV, Babushkin AM. Skin and Sun. *Russian Journal of Skin and Venereal Diseases*. 2012;(6):57–62. doi: 10.17816/dv36783
9. Kalaev VN, Nechaeva MS, Kalaeva EA. *Mikrojadernyj test bukkal'nogo jepitelija rotovoj polosti cheloveka: monografija*. Voronezh: Izdatel'skij dom VGU; 2016. 136 p. (In Russ).
10. Mokhov II, Timazhev AV. Vertical temperature stratification of the atmosphere depending on the length of the annual insolation cycle from simulations with the coupled general circulation model. *Doklady Earth Sciences*. 2020;494(2):795–798. doi: 10.31857/S2686739720100072
11. Yurchenko VV, Ingel FI, Malysheva AG, et al. Influence of the composition of atmospheric air pollution on genotoxic effects in the buccal epithelial cells in children. *Hygiene and Sanitation, Russian Journal*. 2022;101(2):201–210. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-2-201-210
12. Vargas VMF, da Silva Júnior FMR, Silva Pereira TD, et al. A comprehensive overview of genotoxicity and mutagenicity associated with outdoor air pollution exposure in Brazil. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*. 2023;26(3):172–199. doi: 10.1080/10937404.2023.2175092
13. Karta Rossii s gorodami i regionami [map]. [cited: 23.06.2023]. Available from: <https://yandex.ru/maps/225/russia/> (In Russ).
14. *Jekologicheskij rejting sub#ektov Rossijskoj federacii. Itogi osen' 2017* [cited: 23.06.2023]. Available from: https://www.greenpatrol.ru/sites/default/files/prilozhenie_1._osen_2017.docx (In Russ).
15. Borovik AV, Mordvinov AV, Golubeva EM, et al. Restructuring of the solar magnetic fields and flare activity centers in cycle 24. *Astronomicheskij zhurnal*. 2020;97(6):521–528. doi: 10.31857/S0004629920070014
16. https://xras.ru/xras_laboratory.html [Internet]. Laboratory of X-ray Astronomy of the Sun FIAN [cited: 23.06.2023]. Available from: https://xras.ru/xras_laboratory.html (In Russ).
17. Soboleva ON, Kalaev VN, Nechaeva MS, Kalaeva EA. Evaluation of minimum number of analyzed buccal epithelial cells on the sample during micronucleus test. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2016;(3): 80–84.
18. Kulaichev AP. *Metody i sredstva kompleksnogo analiza dannyh*. Moscow: FORUM—INFRA-M; 2006. 512 p. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

* **Калаев Владислав Николаевич**, д.б.н., профессор;
адрес: Российская Федерация, 394018, Воронеж,
Университетская пл., д. 1;
ORCID: 0000-0002-4247-4509;
eLibrary SPIN: 7022-6720;
e-mail: Dr_huixs@mail.ru

Зуевский Владислав Петрович, д.м.н., профессор;
ORCID: 0000-0002-4662-9205;
eLibrary SPIN: 7800-5955;
e-mail: zvp_surgut@mail.ru

Нечаева Марина Сергеевна, к.б.н.;
ORCID: 0000-0003-4880-6751;
eLibrary SPIN: 5108-2660;
e-mail: MAR-Y-ANA@yandex.ru

Ильинских Николай Николаевич, д.б.н., профессор;
ORCID: 0000-0003-1014-1096;
eLibrary SPIN: 1204-3138;
e-mail: nauka-tomsk@yandex.ru

Ильинских Екатерина Николаевна, д.м.н., доцент;
ORCID: 0000-0001-7646-6905;
eLibrary SPIN: 5245-5958;
e-mail: infconf2009@mail.ru

Лантушенко Анастасия Олеговна, к.ф.-м.н., доцент;
ORCID: 0000-0003-3614-9387;
eLibrary SPIN: 5004-8773;
e-mail: lantushenko@mail.ru

Корнеева Ольга Сергеевна, д.б.н., профессор;
ORCID: 0000-0002-2863-0771;
eLibrary SPIN: 3616-5977;
e-mail: korneeva-olgas@yandex.ru

AUTHORS' INFO

* **Vladislav N. Kalaev**, Dr. Sci. (Biol.), professor;
address: 1 Universitetskaya square, 394018 Voronezh,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0002-4247-4509;
eLibrary SPIN: 7022-6720;
e-mail: Dr_huixs@mail.ru

Vladislav P. Zuevsky, MD, Dr. Sci. (Med.), professor;
ORCID: 0000-0002-4662-9205;
eLibrary SPIN: 7800-5955;
e-mail: zvp_surgut@mail.ru

Marina S. Nechaeva, Cand. Sci. (Biol.);
ORCID: 0000-0003-4880-6751;
eLibrary SPIN: 5108-2660;
e-mail: MAR-Y-ANA@yandex.ru

Nikolay N. Ilyinskikh, Dr. Sci. (Biol.), professor;
ORCID: 0000-0003-1014-1096;
eLibrary SPIN: 1204-3138;
e-mail: nauka-tomsk@yandex.ru

Ekaterina N. Ilyinskikh, MD, Dr. Sci. (Med.), associate professor;
ORCID: 0000-0001-7646-6905;
eLibrary SPIN: 5245-5958;
e-mail: infconf2009@mail.ru

Anastasiya O. Lantushenko, Cand. Sci. (Physics and Mathematics),
associate professor;
ORCID: 0000-0003-3614-9387;
eLibrary SPIN: 5004-8773;
e-mail: lantushenko@mail.ru

Olga S. Korneeva, Dr. Sci. (Biol.), professor;
ORCID: 0000-0002-2863-0771;
eLibrary SPIN: 3616-5977;
e-mail: korneeva-olgas@yandex.ru

Зуевская Татьяна Валерьевна, д.м.н., доцент;
ORCID: 0000-0002-9315-1320;
eLibrary SPIN: 9759-1894;
e-mail: z-alnair@mail.ru

Ларина Анна Викторовна, ассистент;
ORCID: 0000-0001-5389-9580;
eLibrary SPIN: 2071-1537;
e-mail: larina.anyuta2010@yandex.ru

Шипилова Евгения Николаевна, студент;
ORCID: 0000-0001-5954-7447;
eLibrary SPIN: 5818-6895;
e-mail: esipilova1505@gmail.com

Гаврилова Валентина Александровна, студент;
ORCID: 0000-0003-3410-6535;
eLibrary SPIN: 7268-0455;
e-mail: havrilovavalentina@gmail.com

Баранов Денис Юрьевич, студент;
ORCID: 0009-0001-1260-1028;
eLibrary SPIN: 1899-8506;
e-mail: Baranov663@scientifictext.ru

Дегтяр (Скуратовская) Ирина Викторовна, ассистент;
ORCID: 0000-0003-3797-7360;
eLibrary SPIN: 2806-0856;
e-mail: skuratovskaya95@mail.ru

Tatiana V. Zuevskaya, MD, Dr. Sci. (Med.), associate professor;
ORCID: 0000-0002-9315-1320;
eLibrary SPIN: 9759-1894;
e-mail: z-alnair@mail.ru

Anna V. Larina, assistant lecturer;
ORCID: 0000-0001-5389-9580;
eLibrary SPIN: 2071-1537;
e-mail: larina.anyuta2010@yandex.ru

Evgeniya N. Shipilova, student;
ORCID: 0000-0001-5954-7447;
eLibrary SPIN: 5818-6895;
e-mail: esipilova1505@gmail.com

Valentina A. Gavrilova, student;
ORCID: 0000-0003-3410-6535;
eLibrary SPIN: 7268-0455;
e-mail: havrilovavalentina@gmail.com

Denis Yu. Baranov, student;
ORCID: 0009-0001-1260-1028;
eLibrary SPIN: 1899-8506;
e-mail: Baranov663@scientifictext.ru

Irina V. Degtyar (Skuratovskaya), assistant lecturer;
ORCID: 0000-0003-3797-7360;
eLibrary SPIN: 2806-0856;
e-mail: skuratovskaya95@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author