 © Авторы статьи / Authors of the article

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ, БИОИНФОРМАТИКА/MATHEMATICAL BIOLOGY, BIOINFORMATICS

DOI: https://doi.org/10.60797/jbg.2026.33.4 EDN: NVMVWM

СВЯЗЬ АКТИВНОСТИ СОЛНЦА И ДЫМА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ С ЧАСТОТОЙ САРКОМ СКЕЛЕТА В РОССИИ

Научная статья

Пинаев С.К.[1, *], Старинский В.В.[2], Гун П.[3], Чаков В.В.[4], Чижов А.Я.[5], Пинаева О.Г.[6]

[1] ORCID : 0000-0003-0774-2376;
[2] ORCID : 0000-0003-0268-8307;
[3] ORCID : 0000-0003-1513-3765;
[4] ORCID : 0000-0001-9939-4289;
[5] ORCID : 0000-0003-0542-1552;
[6] ORCID : 0000-0001-9676-845X;

[1, 6] Дальневосточный государственный медицинский университет, Хабаровск, Российская Федерация
[2] Московский научно-исследовательский онкологический институт имени П.А. Герцена, Москва, Российская Федерация
[3] Гонконгский университет, Гонконг, Китай
[4] Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, Хабаровск, Российская Федерация
[5] Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Российская Федерация
[5] Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (pinaev[at]mail.ru)

Предложена: 20.05.2026; Принята: 26.06.2026; Опубликована: 25.09.2026

Аннотация

Саркомы скелета представляют собой значительную общественную проблему в связи с высокой частотой летальности и инвалидизации, при этом их этиопатогенез недостаточно изучен. Выявление причин и механизмов возникновения сарком скелета необходимо для разработки эффективных методов профилактики.

Цель исследования: изучить связь активности Солнца и дыма лесных пожаров с частотой сарком скелета в России.

Методы: данные о частоте сарком скелета в России в 1990–2019 гг. предоставлены МНИОИ им. П.А. Герцена. Сведения об активности Солнца (среднегодовые числа Вольфа) и числе лесных пожаров получены из открытых источников. Методом регрессионного полиномиального анализа определены пики повозрастной заболеваемости. Проведен корреляционный анализ по Пирсону динамических рядов интенсивности факторов внешней среды и заболеваемости в 11 итерациях с временной задержкой (лагом) 0–10 лет.

Результаты: уточнено положение пиков повозрастной заболеваемости саркомами скелета в России (16 лет, 73 года). Обнаружена корреляция от значительной до сильной числа лесных пожаров с заболеваемостью саркомами скелета во всех возрастных группах населения России (лаг 0–2 года). Выявлена связь активности Солнца с частотой сарком скелета, преимущественно в возрасте 0-85+ лет. Корреляция в этой возрастной группе в динамике в 1990–2019 гг. продемонстрировала тенденцию к увеличению, составив в 1-й декаде 0,820 ($p=0,004$, лаг 10), во 2-й декаде 0,844 ($p=0,002$, лаг 10), и достигнув в 3-й декаде уровня очень сильной — 0,980 ($p\leq0,001$, лаг 9).

Заключение: обнаружена связь частоты сарком скелета в России с дымом лесных пожаров и активностью Солнца. Усиление в динамике корреляции заболеваемости с числами Вольфа может быть обусловлено сенсибилизацией субпопуляции с низкой неспецифической резистентностью к колебаниям геомагнитного поля, с исходом в дизадаптацию и канцерогенез. Исходя из авторской модели патогенеза с ключевыми ролями экологически обусловленного окислительного стресса и гема, предложены меры профилактики путем стимуляции аутофагии и иммунореабилитации пептидными препаратами трансфер фактора.

Ключевые слова: саркомы скелета, злокачественные опухоли костей, солнечная активность, дым, лесные пожары, канцерогенез, Россия.

LINK OF SOLAR ACTIVITY AND FOREST FIRE' SMOKE WITH THE SKELETAL SARCOMAS INCIDENCE IN RUSSIA

Research article

Pinaev S.K.[1, *], Starinsky V.V.[2], Gong P.[3], Chakov V.V.[4], Chizhov A.Y.[5], Pinaeva O.G.[6]

[1] ORCID : 0000-0003-0774-2376;
[2] ORCID : 0000-0003-0268-8307;
[3] ORCID : 0000-0003-1513-3765;
[4] ORCID : 0000-0001-9939-4289;
[5] ORCID : 0000-0003-0542-1552;
[6] ORCID : 0000-0001-9676-845X;

[1, 6] Far Eastern State Medical University, Khabarovsk, Russian Federation
[2] P.A. Herzen Moscow Scientific Research Oncological Institute, Moscow, Russian Federation
[3] The University of Hong Kong, Hong Kong, China

 © Авторы статьи / Authors of the article

[4] Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation
[5] Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation
[5] A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (pinaev[at]mail.ru)

Suggested: 20.05.2026; Accepted: 26.06.2026; Published: 25.09.2026

Abstract

Skeletal sarcomas are a significant public problem due to the high incidence of mortality and disability. Their etiopathogenesis is not clear. Identifying the causes and pathogenesis of skeletal sarcomas is necessary to effective prevention developing.

Aims: to study the link between solar activity and forest fire' smoke with the skeletal sarcomas incidence in Russia.

Materials and methods: data of the skeletal sarcomas incidence in Russia in 1990-2019 provided by MNIOI named P.A. Herzen. Information of solar activity (average annual Wolf numbers) and the number of forest fires given from open sources. Peaks of age-specific morbidity were determined by the polynomial regression analysis. A Pearson correlation analysis between the environmental factors and tumors incidence was done out in 11 iterations with a time lag of 0–10 years.

Results: the position of the peaks in the age-specific incidence of skeletal sarcomas in Russia was clarified (16 years, and 73 years). A significant to strong correlation was found between the number of forest fires and the incidence of skeletal sarcomas in all age groups of the Russian population (lag 0-2 years). A link between solar activity and the incidence of skeletal sarcomas has been revealed, mainly at the age of 0-85+ years. Correlation in this age group during 1990–2019 demonstrated an increasing trend from 0,820 ($p = 0,004$, lag 10) in the 1st decade to 0,844 ($p = 0,002$, lag 10) in the 2nd decade, and reaching a very strong level (0,980) in the 3rd decade ($p \leq 0,001$, lag 9).

Conclusions: a connection between the incidence of skeletal sarcomas in Russia and the smoke of forest fires and solar activity have been discovered. A dynamic increasing of the morbidity correlation with Wolf numbers may be due to the sensitization of a subpopulation with low nonspecific resistance to geomagnetic field fluctuations, resulting in disadaptation and carcinogenesis. Based on the author's model of pathogenesis with the key roles of environmentally induced oxidative stress and heme, preventive measures by stimulating autophagy and immunorehabilitation with transfer factor have been proposed.

Keywords: skeletal sarcomas, malignant bone tumors, solar activity, smoke, forest fires, carcinogenesis, Russia.

Введение

Саркомы скелета, составляя менее 1% в структуре онкологической заболеваемости [1], являются весьма болезненной проблемой для человечества в связи с высокими уровнями инвалидизации и летальности. В России, по данным портала ONCOLOGY.RU, в 2019 г. было зарегистрировано 1418 случаев заболевания, что составило в грубых показателях частоты 0,97 на 100000 населения, или 0,22% в структуре онкологической патологии. При этом доля сарком скелета в смертности от злокачественных новообразований значительно выше — 0,31% [2].

Наиболее частыми формами сарком скелета являются остеосаркома, саркома Юинга и хондросаркома [3]. Остеосаркома и саркома Юинга преимущественно встречаются во втором десятилетии жизни [3], [4]. Остеосаркома, помимо этого, имеет еще один пик заболеваемости в возрасте 60–79 лет [5], а для хондросаркомы характерно наиболее частое возникновение в 5–6 декадах жизни [3], [4].

Источником возникновения сарком скелета являются примитивные мезенхимальные клетки [3]. Работы, посвященные этиопатогенезу этих новообразований, немногочисленны. В ряде случаев причины опухолей кости носят врожденный характер, о чем свидетельствует частое обнаружение мутации гена Rb1 при саркоме Юинга и остеосаркоме [6], [7] и тот факт, что саркома Юинга нередко сочетается с пупочными и паховыми грыжами, а также с патологией сердца [6]. На пренатальный генез саркомы Юинга указывает повышение её частоты у потомства отцов, занимающихся сельским хозяйством и контактирующих с пестицидами [6].

Пестициды как причина увеличения частоты сарком скелета указаны в выводах исследования, проведенного на территории семи европейских стран. При этом риски, обусловленные воздействием инсектицидов и гербицидов, были одинаковыми [8]. Помимо этого установлено, что такие профессиональные факторы, как деревообработка, работа в строительстве и занятие обработкой металлов [8] также играют роль в этиологии сарком костей. Хорошо документированным этиологическим фактором сарком скелета является ионизирующее излучение, причем риск развития опухолей растет по мере увеличения кумулятивной дозы облучения костей [1], [7].

Одной из причин, причастных к возникновению сарком скелета, может являться такой повсеместно распространенный фактор внешней среды, как дым. Это предположение, в частности, подкреплено данными о том, что курение табака родителями повышает риск возникновения саркомы Юинга у детей [6]. Все виды дыма, согласно данным Международного агентства по изучению рака (МАИР), являются канцерогенами [9]. Наиболее важными компонентами всех видов дыма с позиций канцерогенеза являются полициклические ароматические углеводороды, формальдегид, тяжелые металлы и микрочастицы углерода (PM_{10}, $PM_{2,5}$) [9], причем последние депонируют и транспортируют на себе другие канцерогены. Помимо локального воздействия с запуском опухолевой трансформации через классические этапы метаплазии, дисплазии и анаплазии, канцерогены дыма индуцирует механизм альтернативного онкогенеза через развитие экологически обусловленного окислительного стресса [10]. При этом мишенью являются не отдельные органы, а системы тканей, в том числе скелетных, что позволяет охарактеризовать возникающие новообразования как системные.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Особое внимание в качестве возможной причины возникновения сарком скелета привлекает дым лесных пожаров. Ежегодно в атмосферу выбрасывается от 20 до 150 млн т пыли и аэрозолей от лесных пожаров, что позволяет рассматривать их как один из мощнейших факторов преобразования природы [11], [12]. В настоящее время установлена связь лесных пожаров с частотой лейкоза, лимфом, опухолей центральной нервной системы и других форм новообразований [10], [13]. А в 2022 г. был опубликован отчет об анализе случаев смерти от рака в Бразилии, охватывающий популяцию в 136 миллионов взрослых человек. В нем было показано увеличение риска смерти от различных новообразований, в том числе от сарком скелета, вследствие повышения в воздухе концентрации микрочастиц углерода, обусловленной лесными пожарами [14].

Еще одним всеобъемлющим фактором внешней среды с доказанными канцерогенными свойствами является солнечная радиация [9]. Сообщений о связи чисел Вольфа с саркомами скелета нам не встретилось. Однако, учитывая многочисленные свидетельства зависимости частоты лейкоза, лимфом, эмбриональных опухолей и сарком мягких тканей от активности Солнца [10], [13], исследование роли этого экологического фактора в генезе новообразований скелета представляет значительный интерес.

Цель исследования: изучить связь активности Солнца и дыма лесных пожаров с частотой сарком скелета в России.

Материалы и методика

Объектом нашего исследования явилась популяция Российской Федерации. Сведения о заболеваемости саркомами скелета в Российской Федерации в целом и раздельно по административно-территориальным единицам в 1990–2019 гг. (код МКБ-10: С40,41; абсолютное число случаев; грубые показатели заболеваемости на 100000 населения в год, оба пола) в трех возрастных срезах (0–4 года, 0–14 лет, 0–85+ лет) подготовлены сотрудниками МНИОИ им. П.А. Герцена О.П. Грецовой и И.С. Андреевой с помощью информационно-аналитической системы базы данных по онкологии на основе государственной статистической отчетности «ПО ИАС базы данных федеральной статистической отчетности по онкологии» (Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2011617155), и Федерального ракового регистра РФ «Канцер-регистр 6FB».

Анализ повозрастной заболеваемости осуществлен на основании числа зарегистрированных в 2010–2019 гг. случаев опухолей скелета, и данных Федеральной службы государственной статистики о численности населения Российской Федерации по полу и возрасту [15]. Повозрастная заболеваемость рассчитана на 100000 населения соответствующей возрастной группы с шагом в один год, от 0 до 95 лет. В более старшем возрасте в связи с резким сокращением численности групп показатели имеют значительный разброс и расценены как выпадающие данные. Для уточнения положения пиков частоты использован регрессионный анализ полиномом 6 степени. После разделения эмпирического графика по точке излома, проведена дополнительная оценка диаграмм рассеяния для каждого возрастного фрагмента.

Сведения об активности Солнца (среднегодовые числа Вольфа) взяты на сайте Королевской обсерватории Бельгии [16]. Данные о числе лесных пожаров в регионах России в 1992–2019 гг. взяты из официальных отчетов Единой межведомственной информационно-статистической системы [17]. Динамические ряды факторов внешней среды и частоты сарком скелета подвергнуты корреляционному анализу по Пирсону в 11 итерациях с временной задержкой (лагом) 0–10 лет с шагом в один год.

В связи с тем, что при смене солнечного цикла каждые 10–11 лет происходит качественное и количественное изменение всех параметров активности Солнца [18], изучение ее связи с частотой опухолей скелета осуществлялось как за весь период исследования, так и подекадно (1990–1999, 2000–2009, 2010–2019 гг.). В качестве критерия достоверности коэффициентов корреляции принята величина $p \leq 0{,}05$. Обработка данных проведена с помощью встроенного математического аппарата программы Microsoft Excel и пакета IBM SPSS Statistics 23.

Результаты

Саркомы скелета характеризуются преобладанием пациентов старше 15 лет (90,5%). На группу 0–4 года приходится лишь 1,5% всех случаев, а число лиц до 14 лет включительно составляет 9,5% в структуре впервые зарегистрированных с данной патологией. На графике хорошо видно бимодальное распределение повозрастной заболеваемости (рис. 1).

 © Авторы статьи / Authors of the article

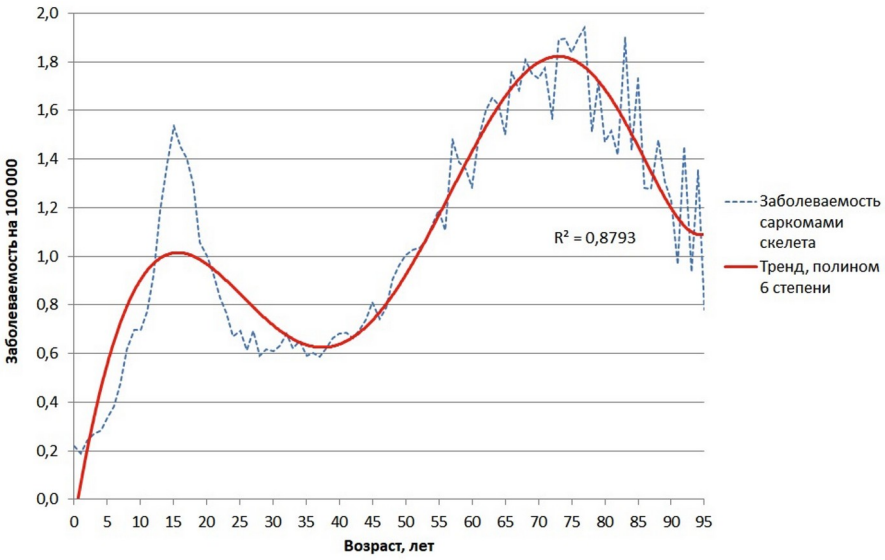

Рисунок 1 - Повозрастная заболеваемость саркомами скелета в России в 2010-2019 гг.
DOI: https://doi.org/10.60797/jbg.2026.33.4.1

Примечание: грубый показатель на 100 000 человек в год, оба пола

После разделения эмпирического графика по точке излома (37 лет) проведена оценка диаграмм рассеяния для фрагментов 0–37 лет, и 37–95 лет. Пики заболеваемости, согласно полиномиальному регрессионному анализу, приходятся на возраст 16 лет, и 73 года (рис. 2, 3).

 © Авторы статьи / Authors of the article

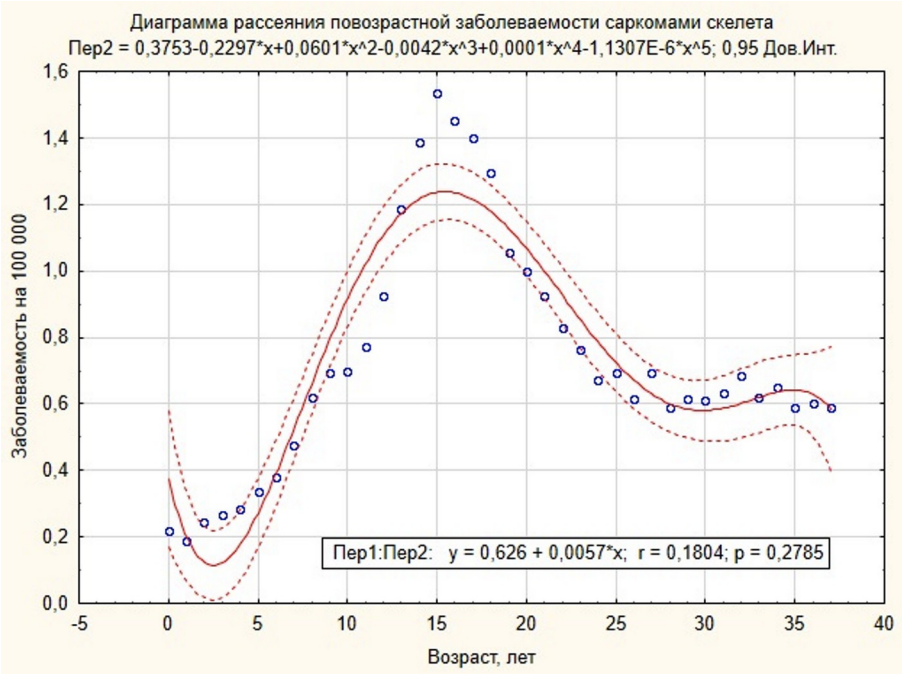

Рисунок 2 - Диаграмма рассеяния повозрастной заболеваемости саркомами скелета в России в 2010-2019 гг. в диапазоне 0-37 лет

DOI: https://doi.org/10.60797/jbg.2026.33.4.2

Примечание: грубый показатель на 100 000 человек в год, оба пола

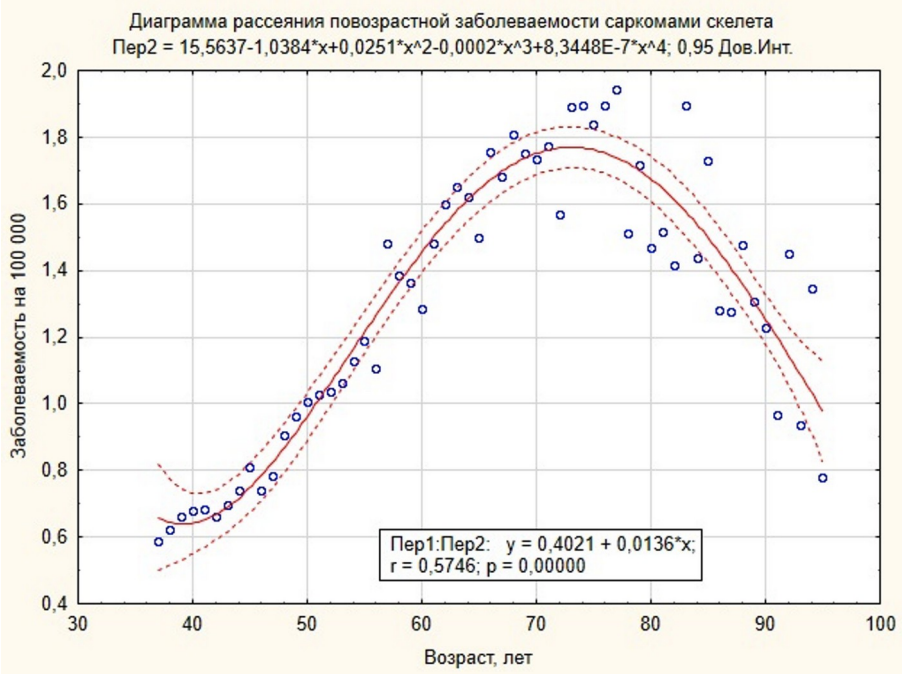

Рисунок 3 - Диаграмма рассеяния повозрастной заболеваемости саркомами скелета в России в 2010-2019 гг. в диапазоне 37-95 лет

DOI: https://doi.org/10.60797/jbg.2026.33.4.3

Примечание: грубый показатель на 100 000 человек в год, оба пола

Корреляционный анализ по Пирсону ни в одном из регионов России в отдельности в подгруппе 0–4 года связи дыма лесных пожаров с заболеваемостью опухолями скелета не обнаружил, что вполне объяснимо чрезвычайно низкой частотой данной патологии в этом возрасте. В группах 0–14 и 0–85+ лет корреляция числа лесных пожаров с заболеваемостью саркомами скелета выявлена в 40 регионах Российской Федерации. Наибольшая сила связи в

 © Авторы статьи / Authors of the article

возрасте 0–14 лет установлена в Новосибирской области (r=0,692; p=0,001; лаг 9 лет), в группе 0–85+ лет – в Ростовской области (r=0,800; p=0,000, лаг 4 года).

Изучение корреляции числа лесных пожаров с заболеваемостью саркомами скелета населения России в целом выявило ее во всех возрастных подгруппах. Наиболее сильная связь зафиксирована в группе 0–14 лет; меньшая, но при этом также высокодостоверная, в полновозрастной популяции 0-85+ лет (табл. 1).

Таблица 1 - Коэффициент корреляции и лаг (лет) между факторами внешней среды и частотой сарком скелета в различных возрастных популяциях России

DOI: https://doi.org/10.60797/jbg.2026.33.4.4

Период. Экологический фактор	0-4 года			0-14лет			0-85+ лет		
	r	p	Лаг	r	p	Лаг	r	p	Лаг
1992-2019 гг. Число лесных пожаров	0,632	0,001	2	0,774	0,000	1	0,614	0,001	0
1990-1999 гг. Солнечная активность	-	-	-	-	-	-	0,820	0,004	10
2000-2009 гг. Солнечная активность	-	-	-	-	-	-	0,844	0,002	10
2010-2019 гг. Солнечная активность	-	-	-	0,680	0,030	7	0,980	0,000	9

Исследование связи активности Солнца с заболеваемостью опухолями скелета в 1990–2019 гг. установило ее наличие в полновозрастной популяции 0-85+ лет (r=0,424; p=0,019; лаг 9). При изучении такой корреляции раздельно по декадам в группе 0–85+ лет обнаружено ее прогрессивное нарастание в динамике, вплоть до уровня очень сильной в 2010–2019 гг. (табл. 1).

Учитывая, что лесные пожары обусловлены совокупностью различных природных процессов и зависят в том числе от ритмов солнечной активности [19], было проведено дополнительное изучение их связи с саркомами скелета в России в 2010–2019 гг. Оказалось, что корреляция за декаду значительно выше, чем за изученный период в целом, как в детской 0–14 лет (r=0,779; p=0,008; лаг 1), так и в полновозрастной популяциях (r=0,857; p=0,002; лаг 0), что

 © Авторы статьи / Authors of the article

подтвердило наше предположение. Для целостного зрительного восприятия мы представили связь частоты новообразований скелета с факторами внешней среды в 2010–2019 гг. на графике (рис. 4).

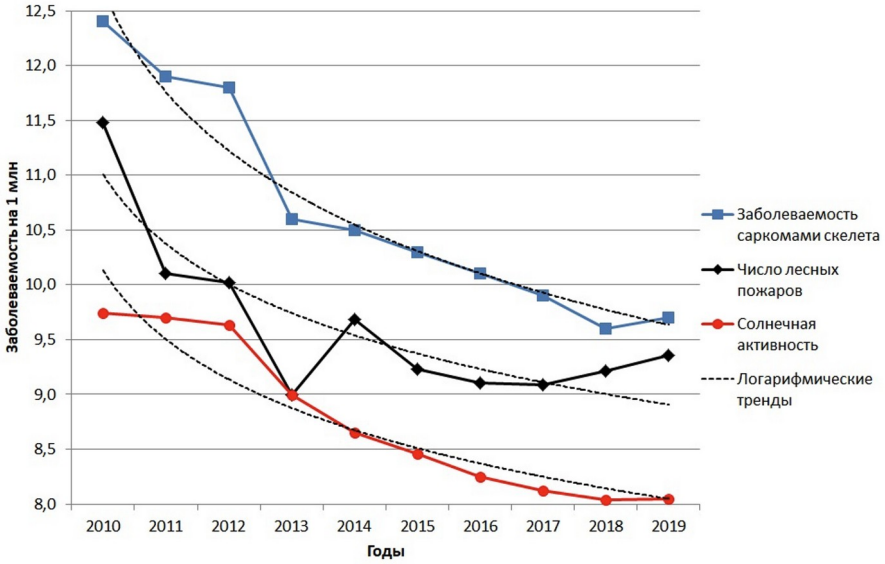

Рисунок 4 - Сравнительная динамика числа лесных пожаров, активности Солнца и заболеваемости саркомами скелета в России в 2010–2019 гг.

DOI: https://doi.org/10.60797/jbg.2026.33.4.5

Примечание: число лесных пожаров – × 10^{-4} + 8, лаг 0; активность Солнца (числа Вольфа) – × 10^{-2} + 8, лаг 9; заболеваемость саркомами скелета – 0–85+ лет, грубый показатель на 1 млн, оба пола

Рисунок позволяет наглядно убедиться в высокой степени подобия как самих динамических рядов, так и логарифмических трендов заболеваемости, числа лесных пожаров и активности Солнца.

Обсуждение

Обнаруженная нами связь дыма лесных пожаров с частотой сарком скелета подтверждает результаты, полученные исследователями из Бразилии [14]. При этом стоит отметить, что ее авторами было обнаружено увеличение риска смерти от сарком кости лишь у мужчин, страдающих онкологической патологией чаще женщин вследствие полового диморфизма [20]. Наше исследование позволило установить подобную связь для всей Российской популяции, включающей оба пола. Это позволяет предположить, что использованный нами методологический подход обладает большей чувствительностью при изучении такой редкой патологии, как саркомы скелета.

В настоящее время канцерогенность дыма является доказанной. Согласно заключению экспертов МАИР, профессиональное воздействие дыма на пожарных классифицируется как «канцерогенное для человека» (группа 1). Установлена причинная связь профессиональной деятельности пожарных с мезотелиомой и раком мочевого пузыря, отмечены достоверные положительные ассоциации с заболеваемостью раком толстой кишки, простаты, яичек, меланомой и неходжкинской лимфомой [21]. В монографии МАИР № 132, посвященной исследованию канцерогенной опасности труда пожарных, особо отмечена сложность такой оценки при лесных пожарах, поскольку сценарий их развития затрудняет отбор индивидуальных проб вдыхаемого воздуха. Вследствие этого имеющиеся в литературе данные о воздействии дыма лесных пожаров могут недооценивать реальную степень воздействия [22].

Это предположение подтверждается тем, что смертность от злокачественных новообразований при загрязнении воздуха $PM_{2,5}$, вызванном лесными пожарами, превышает таковую при аналогичных концентрациях микрочастиц углерода другого происхождения [14]. Причиной может являться то, что дым лесных пожаров, помимо $PM_{2,5}$ и других канцерогенов, общих для всех форм дыма, содержит большое количество радионуклидов. Лесная почва является активным накопителем радиоактивных изотопов — антропотехногенных ^{90}Sr, ^{137}Cs, $^{239+240}Pu$ и природного ^{238}U. При сильных пожарах происходит активная эмиссия радионуклидов из биомассы. Например, вынос урана из 5 млн га лесной почвы составляет более 19 тонн, причем дымовые аэрозоли, содержащие радиоизотопы, поднимаются на высоту до 12 км и далее распространяются на тысячи км, оказывая канцерогенное действие на человеческую популяцию [11].

Онкогенный эффект дыма реализуется в значительной степени эпигеномными механизмами. Экспертами МАИР установлено, что, профессиональное воздействие на пожарных имеет следующие ключевые характеристики канцерогенов: «является генотоксичным», «вызывает эпигенетические изменения», «вызывает окислительный стресс», «вызывает хроническое воспаление», «модулирует рецептор-опосредованные эффекты» [21]. При этом установлено, что длительное воздействие $PM_{2,5}$, связанных с лесными пожарами, приводит к большему метилированию ДНК клеточных элементов в крови, нежели $PM_{2,5}$ иного происхождения [23]. Эпигенетические механизмы, реализуемые в том числе через дисрегуляцию семафоринов [24], [25], играют важную роль в возникновении сарком скелета [26].

 © Авторы статьи / Authors of the article

Можно предположить, что саркомы скелета, являющиеся редкой орфанной патологией (около 1 случая на 100 тысяч человек в год), возникают в субпопуляции лиц, имеющих те или иные нарушения резистентности в виде дефектов антиоксидантной защиты, системы репарации ДНК, и различных форм иммунодефицита. Поэтому отсутствие повышенной заболеваемости саркомами скелета пожарных вполне объяснимо высоким уровнем состояния здоровья этой профессиональной группы (медицинский отбор при трудоустройстве), небольшим в сопоставлении с популяцией объемом выборки, и меньшей канцерогенной опасностью задымления при пожарах в населенных пунктах по сравнению с дымом лесных пожаров.

Короткий лаг между воздействием дыма лесных пожаров и изменениями частоты сарком скелета в популяции предположительно может быть связан с тем, что этот фактор внешней среды не запускает инициацию канцерогенеза, а приводит к эпигеномному перепрограммированию уже имеющихся трансформированных клеток, ускоряя их рост и клиническую манифестацию.

Установлено, что патогенное действие дыма усиливается вследствие увеличения солнечной и геомагнитной активности, проявляющихся изменениями геомагнитного поля, планетарного K-индекса и числа солнечных пятен. Это способствует образованию атмосферных аэрозолей с микрочастицами углерода $PM_{2,5}$, усиливая их воздействие на организм. Также повышенная солнечная и геомагнитная активность нарушают работу симпатической нервной системы, снижают эффективность антиоксидантной защиты и уменьшают жизненную емкость легких [27], способствуя развитию экологически обусловленного окислительного стресса и последующему системному онкогенезу.

Особо следует отметить впервые выявленную в нашем исследовании связь колебаний частоты сарком скелета с активностью Солнца. Исходя из данных литературы, трансформирующий потенциал солнечной активности может быть опосредован, в частности, двумя путями — воздействием на геном и эпигеном индуцированного колебаниями геомагнитных полей экологически обусловленного окислительного стресса [10], а также повреждением ДНК вторичными космическими лучами [28].

Интересным является то обстоятельство, что усиление связи частоты сарком скелета с числами Вольфа происходит на фоне снижения солнечной активности в 22–24 циклах [18]. Возможное объяснение заключается в том, что природные электромагнитные поля, постоянно воздействуя на живые организмы, синхронизируют их с окружающей средой. В условиях пониженной резистентности организма слабые электромагнитные колебания, в том числе связанные с активностью Солнца, являются бипотентным фактором, способным оказать как стабилизирующее антистрессорное действие, так и выступить в качестве сенсибилизатора патологического процесса [29]. В этом случае нарастающая чувствительность к геомагнитным полям у предрасположенной части популяции со сниженным уровнем неспецифической резистентности ведет к дизадаптации, нарушению антиоксидантной защиты и снижению противоопухолевого иммунитета, создавая благоприятные условия для возникновения неоплазий.

Особую роль в экологически обусловленном онкогенезе играет железо гема. Вследствие своей нестабильности железо обладает способностью усиливать окислительный стресс, катализируя через реакцию Фентона образование гидроксильных радикалов. При высокой концентрации железа в тканях нарушается окислительно-восстановительный баланс с образованием активных кислородных метаболитов [30]. Также, благодаря наличию ферромагнитных свойств, железо дополнительно стимулирует окислительный стресс путем генерации, приема и усиления электромагнитных полей. Результатом этого может явиться дисрегуляции семафоринов в стволовых клетках в местах наибольшего контакта с гемом, с исходом в опухолевую трансформацию [30].

Исходя из сказанного, большое значение для профилактики экологически обусловленного системного онкогенеза имеет использование антиоксидантов [28] и продуктов питания, стимулирующих аутофагию [10]. Также, исходя из иммуносупрессивного действия окислительного стресса, в экологически неблагополучных районах показана превентивная комплексная иммунореабилитация пептидными комплексами на основе трансфер фактора [10].

Ограничения исследования

Полученные нами результаты следует рассматривать исключительно как предварительные, исходя из небольшой частоты исследуемой патологии и особенностей методики, поскольку регрессионный и корреляционный анализы при выявлении связей не позволяют высказаться об их причинно-следственных взаимоотношениях.

Заключение

Саркомы скелета до настоящего времени остаются нерешенной проблемой для человечества, в том числе вследствие отсутствия обоснованного представления об их причинах и патогенезе. Обнаружение связи этих заболеваний с дымом лесных пожаров и активностью Солнца, в случае подтверждения ее причинно-следственного характера, может лечь в основу разработки мер эффективной профилактики как непосредственно опухолей костей, так и других системных новообразований. Требуется дальнейшее расширение географии исследования с использованием дополнительных эпидемиологических и экспериментальных методов, и подключением развитого математического аппарата для анализа полученных данных.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Благодарности

Авторы выражают благодарность О.П. Грецовой и И.С. Андреевой за подготовку данных для анализа.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Acknowledgement

The authors express their gratitude to O.P. Gretsova and I.S. Andreeva for preparing the data for analysis.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Burningham Z. The epidemiology of sarcoma / Z. Burningham, M. Hashibe, L. Spector [et al.] // Clinical Sarcoma Research. — 2012. — Vol. 2. — № 1. — P. 1–16. — DOI: 10.1186/2045-3329-2-14.

2. Злокачественные новообразования в России. — URL: http://www.oncology.ru/service/statistics/malignant_tumors/ (дата обращения: 12.12.2023).

3. Balmant N.V. Incidence and mortality of bone cancer among children, adolescents and young adults of Brazil / N.V. Balmant, R.S. Reis, M.O. Santos [et al.] // Clinics (Sao Paulo). — 2019. — Vol. 74. — DOI: 10.6061/clinics/2019/e858.

4. Ebrahimpour A. Incidence of primary bone sarcomas in Iranian population (2008-2015): A national population-based study / A. Ebrahimpour, M. Sadighi, A. Karimi [et al.] // Caspian Journal of Internal Medicine. — 2022. — Vol. 13. — № 4. — P. 741–748. — DOI: 10.22088/cjim.13.4.741.

5. Rojas G.A. International trends in incidence of osteosarcoma (1988–2012) / G.A. Rojas, A.K. Hubbard, B.J. Diessner [et al.] // International Journal of Cancer. — 2021. — Vol. 149. — № 5. — P. 1044–1053. — DOI: 10.1002/ijc.33673.

6. Gargallo P. Review: Ewing Sarcoma Predisposition / P. Gargallo, Y. Yáñez, A. Juan [et al.] // Pathology & Oncology Research. — 2020. — Vol. 26. — № 4. — P. 2057–2066. — DOI: 10.1007/s12253-019-00765-3.

7. Ottaviani G. The etiology of osteosarcoma / G. Ottaviani, N. Jaffe // Cancer Treatment and Research. — 2009. — Vol. 152. — P. 15–32. — DOI: 10.1007/978-1-4419-0284-9_2.

8. Merletti F. Occupational factors and risk of adult bone sarcomas: a multicentric case-control study in Europe / F. Merletti, L. Richiardi, F. Bertoni [et al.] // International Journal of Cancer. — 2006. — Vol. 118. — № 3. — P. 721–727. — DOI: 10.1002/ijc.21388.

9. IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. List of Classifications. Agents classified by the IARC Monographs, Volumes 1–133. — URL: https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications (accessed: 12.12.2023).

10. Пинаев С.К. Связь дыма и солнечной активности с новообразованиями человека / С.К. Пинаев, А.Я. Чижов, О.Г. Пинаева // Казанский медицинский журнал. — 2022. — Т. 103. — № 4. — С. 650–657. — DOI: 10.17816/KMJ2022-650.

11. Щербов Б.Л. Лесные пожары и их последствия / Б.Л. Щербов, Е.В. Лазарева, И.С. Журкова. — Новосибирск : Академическое издательство «ГЕО», 2015. — 211 с.

12. Орлов А.М. Пожарная обстановка в лесах Хабаровского края / А.М. Орлов, Ю.А. Андреев, В.В. Чаков [и др.]. — Хабаровск : Хабаровская краевая типография, 2022. — 160 с. — EDN JHBEZM.

13. Пинаев С.К. Влияние лесных пожаров на онкологические заболевания у населения Дальнего Востока / С.К. Пинаев, С. Веневский, В.В. Чаков [и др.] // Вестник РГМУ. — 2023. — № 4. — С. 22–33. — DOI: 10.24075/vrgmu.2023.028.

14. Yu P. Exposure to wildfire-related PM2.5 and site-specific cancer mortality in Brazil from 2010 to 2016: A retrospective study / P. Yu, R. Xu, S. Li [et al.] // PLoS Medicine. — 2022. — Vol. 19. — № 9. — DOI: 10.1371/journal.pmed.1004103.

15. Федеральная служба государственной статистики. Численность населения Российской Федерации по полу и возрасту. — URL: https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13284 (дата обращения: 12.12.2023).

16. SILSO data/image, Royal Observatory of Belgium, Brussels. — URL: http://www.sidc.be/silso/datafiles (accessed: 12.12.2023).

17. Единая межведомственная информационно-статистическая система. Число лесных пожаров. — URL: https://fedstat.ru/indicator/31580 (дата обращения: 12.12.2023).

18. Ишков В.Н. Текущий 24 цикл солнечной активности в фазе минимума: Предварительные итоги и особенности развития / В.Н. Ишков // Космические исследования. — 2020. — Т. 58. — № 6. — С. 471–478. — DOI: 10.31857/S0023420620060060.

19. Пинаев С.К. Связь активности Солнца и лесных пожаров с позиций онкогенеза / С.К. Пинаев, А.Я. Чижов, О.Г. Пинаева // Радиация и риск. — 2023. — Т. 32. — № 4. — С. 35–43. — DOI: 10.21870/0131-3878-2023-32-4-35-43.

20. Белицкий Г.А. Молекулярные механизмы полового диморфизма в канцерогенезе / Г.А. Белицкий, К.И. Кирсанов, Е.А. Лесовая [и др.] // Успехи молекулярной онкологии. — 2023. — Т. 10. — № 3. — С. 24–35. — DOI: 10.17650/2313-805X-2023-10-3-24-35.

21. Demers P.A. Carcinogenicity of occupational exposure as a firefighter / P.A. Demers, D.M. DeMarini, K.W. Fent [et al.] // Lancet Oncology. — 2022. — Vol. 23. — № 8. — P. 985–986. — DOI: 10.1016/S1470-2045(22)00390-4.

22. IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. — 2023. — Vol. 132: Occupational exposure as a firefighter. — URL: https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Occupational-Exposure-As-A-Firefighter-2023 (accessed: 12.12.2023).

23. Xu R. Wildfire-related PM2.5 and DNA methylation: An Australian twin and family study / R. Xu, S. Li, Y. Wu [et al.] // Environment International. — 2023. — Vol. 171. — DOI: 10.1016/j.envint.2022.107704.

24. de Ridder D. Bidirectional regulation of bone formation by exogenous and osteosarcoma-derived Sema3A / D. de Ridder, S. Marino, R.T. Bishop [et al.] // Scientific Reports. — 2018. — Vol. 8. — № 1. — DOI: 10.1038/s41598-018-25290-2.

25. Li C. Sema4D/Plexin-B1 promotes the progression of osteosarcoma cells by activating Pyk2-PI3K-AKT pathway / C. Li, L. Wan, P. Wang [et al.] // Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions. — 2021. — Vol. 21. — № 4. — P. 577–583.

26. Nacev B.A. The epigenomics of sarcoma / B.A. Nacev, K.B. Jones, A.M. Intlekofer [et al.] // Nature Reviews Cancer. — 2020. — Vol. 20. — № 10. — P. 608–623. — DOI: 10.1038/s41568-020-0288-4.

27. Anand K. Solar and geomagnetic activity reduces pulmonary function and enhances particulate pollution effects / K. Anand, C.L.Z. Vieira, E. Garshick [et al.] // Science of the Total Environment. — 2022. — Vol. 838. — Part 3. — DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.156434.

28. Mitrea D.R. Antioxidant protection against cosmic radiation-induced oxidative stress at commercial flight altitude / D.R. Mitrea, H. Mortazavi Moshkenani, O.A. Hoteiuc [et al.] // Journal of Physiology and Pharmacology. — 2018. — Vol. 69. — № 4. — DOI: 10.26402/jpp.2018.4.03.

29. Мартынюк В.С. Экспериментальная верификация электромагнитной гипотезы солнечно-биосферных связей / В.С. Мартынюк, Н.А. Темурьянц // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: Биология, химия. — 2007. — Т. 20 (59). — № 1. — С. 8–27.

30. Пинаев С.К. Роль гема в экологически обусловленном онкогенезе (обзор литературы) / С.К. Пинаев // Экология человека. — 2023. — Т. 30. — № 1. — С. 5–15. — DOI: 10.17816/humeco115234.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Burningham Z. The epidemiology of sarcoma / Z. Burningham, M. Hashibe, L. Spector [et al.] // Clinical Sarcoma Research. — 2012. — Vol. 2. — № 1. — P. 1–16. — DOI: 10.1186/2045-3329-2-14.

2. Zlokachestvennye novoobrazovaniya v Rossii [Malignant neoplasms in Russia]. — URL: http://www.oncology.ru/service/statistics/malignant_tumors/ (accessed: 12.12.2023). [in Russian]

3. Balmant N.V. Incidence and mortality of bone cancer among children, adolescents and young adults of Brazil / N.V. Balmant, R.S. Reis, M.O. Santos [et al.] // Clinics (Sao Paulo). — 2019. — Vol. 74. — DOI: 10.6061/clinics/2019/e858.

4. Ebrahimpour A. Incidence of primary bone sarcomas in Iranian population (2008-2015): A national population-based study / A. Ebrahimpour, M. Sadighi, A. Karimi [et al.] // Caspian Journal of Internal Medicine. — 2022. — Vol. 13. — № 4. — P. 741–748. — DOI: 10.22088/cjim.13.4.741.

5. Rojas G.A. International trends in incidence of osteosarcoma (1988–2012) / G.A. Rojas, A.K. Hubbard, B.J. Diessner [et al.] // International Journal of Cancer. — 2021. — Vol. 149. — № 5. — P. 1044–1053. — DOI: 10.1002/ijc.33673.

6. Gargallo P. Review: Ewing Sarcoma Predisposition / P. Gargallo, Y. Yáñez, A. Juan [et al.] // Pathology & Oncology Research. — 2020. — Vol. 26. — № 4. — P. 2057–2066. — DOI: 10.1007/s12253-019-00765-3.

7. Ottaviani G. The etiology of osteosarcoma / G. Ottaviani, N. Jaffe // Cancer Treatment and Research. — 2009. — Vol. 152. — P. 15–32. — DOI: 10.1007/978-1-4419-0284-9_2.

8. Merletti F. Occupational factors and risk of adult bone sarcomas: a multicentric case-control study in Europe / F. Merletti, L. Richiardi, F. Bertoni [et al.] // International Journal of Cancer. — 2006. — Vol. 118. — № 3. — P. 721–727. — DOI: 10.1002/ijc.21388.

9. IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. List of Classifications. Agents classified by the IARC Monographs, Volumes 1–133. — URL: https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications (accessed: 12.12.2023).

10. Pinaev S.K. Svyaz' dyma i solnechnoj aktivnosti s novoobrazovaniyami cheloveka [The link of smoke and solar activity with human neoplasms] / S.K. Pinaev, A.Ya. Chizhov, O.G. Pinaeva // Kazanskij meditsinskij zhurnal [Kazan Medical Journal]. — 2022. — Vol. 103. — № 4. — P. 650–657. — DOI: 10.17816/KMJ2022-650. [in Russian]

11. Shcherbov B.L. Lesnye pozhary i ikh posledstviya [Forest fires and their consequences] / B.L. Shcherbov, E.V. Lazareva, I.S. Zhurkova. — Novosibirsk : Academic Publishing House "GEO", 2015. — 211 p. [in Russian]

12. Orlov A.M. Pozharnaya obstanovka v lesakh Khabarovskogo kraya [Fire situation in the forests of the Khabarovsk Territory] / A.M. Orlov, Yu.A. Andreev, V.V. Chakov [et al.]. — Khabarovsk : Khabarovsk Regional Printing House, 2022. — 160 p. — EDN JHBEZM. [in Russian]

13. Pinaev S.K. Vliyanie lesnykh pozharov na onkologicheskie zabolevaniya u naseleniya Dal'nego Vostoka [Possible links of wildfires with oncological diseases of children and adults in the Russian Far East] / S.K. Pinaev, S. Venevsky, V.V. Chakov [et al.] // Vestnik RGMU [Bulletin of RSMU]. — 2023. — № 4. — P. 22–33. — DOI: 10.24075/vrgmu.2023.028. [in Russian]

14. Yu P. Exposure to wildfire-related PM2.5 and site-specific cancer mortality in Brazil from 2010 to 2016: A retrospective study / P. Yu, R. Xu, S. Li [et al.] // PLoS Medicine. — 2022. — Vol. 19. — № 9. — DOI: 10.1371/journal.pmed.1004103.

15. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki. Chislennost' naseleniya Rossijskoj Federatsii po polu i vozrastu [Federal State Statistics Service. Population of the Russian Federation by sex and age]. — URL: https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13284 (accessed: 12.12.2023). [in Russian]

16. SILSO data/image, Royal Observatory of Belgium, Brussels. — URL: http://www.sidc.be/silso/datafiles (accessed: 12.12.2023).

 © Авторы статьи / Authors of the article

17. Edinaya mezhvedomstvennaya informatsionno-statisticheskaya sistema. Chislo lesnykh pozharov [Unified Interdepartmental Information and Statistical System. Number of forest fires]. — URL: https://fedstat.ru/indicator/31580 (accessed: 12.12.2023). [in Russian]

18. Ishkov V.N. Tekushchij 24 tsikl solnechnoj aktivnosti v faze minimuma: Predvaritel'nye itogi i osobennosti razvitiya [The Current 24th Cycle of Solar Activity in the Minimum Phase: Preliminary Results and Features of Development] / V.N. Ishkov // Kosmicheskie issledovaniya [Cosmic Research]. — 2020. — Vol. 58. — № 6. — P. 471–478. — DOI: 10.31857/S0023420620060060. [in Russian]

19. Pinaev S.K. Svyaz' aktivnosti Solntsa i lesnykh pozharov s pozitsij onkogeneza [Link between solar activity and forest fires from the standpoint of oncogenesis] / S.K. Pinaev, A.Ya. Chizhov, O.G. Pinaeva // Radiatsiya i risk [Radiation and Risk]. — 2023. — Vol. 32. — № 4. — P. 35–43. — DOI: 10.21870/0131-3878-2023-32-4-35-43. [in Russian]

20. Belitsky G.A. Molekulyarnye mekhanizmy polovogo dimorfizma v kantserogeneze [Sexual dimorphism in cancer] / G.A. Belitsky, K.I. Kirsanov, E.A. Lesovaya [et al.] // Uspekhi molekulyarnoj onkologii [Advances in Molecular Oncology]. — 2023. — Vol. 10. — № 3. — P. 24–35. — DOI: 10.17650/2313-805X-2023-10-3-24-35. [in Russian]

21. Demers P.A. Carcinogenicity of occupational exposure as a firefighter / P.A. Demers, D.M. DeMarini, K.W. Fent [et al.] // Lancet Oncology. — 2022. — Vol. 23. — № 8. — P. 985–986. — DOI: 10.1016/S1470-2045(22)00390-4.

22. IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. — 2023. — Vol. 132: Occupational exposure as a firefighter. — URL: https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Occupational-Exposure-As-A-Firefighter-2023 (accessed: 12.12.2023).

23. Xu R. Wildfire-related PM2.5 and DNA methylation: An Australian twin and family study / R. Xu, S. Li, Y. Wu [et al.] // Environment International. — 2023. — Vol. 171. — DOI: 10.1016/j.envint.2022.107704.

24. de Ridder D. Bidirectional regulation of bone formation by exogenous and osteosarcoma-derived Sema3A / D. de Ridder, S. Marino, R.T. Bishop [et al.] // Scientific Reports. — 2018. — Vol. 8. — № 1. — DOI: 10.1038/s41598-018-25290-2.

25. Li C. Sema4D/Plexin-B1 promotes the progression of osteosarcoma cells by activating Pyk2-PI3K-AKT pathway / C. Li, L. Wan, P. Wang [et al.] // Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions. — 2021. — Vol. 21. — № 4. — P. 577–583.

26. Nacev B.A. The epigenomics of sarcoma / B.A. Nacev, K.B. Jones, A.M. Intlekofer [et al.] // Nature Reviews Cancer. — 2020. — Vol. 20. — № 10. — P. 608–623. — DOI: 10.1038/s41568-020-0288-4.

27. Anand K. Solar and geomagnetic activity reduces pulmonary function and enhances particulate pollution effects / K. Anand, C.L.Z. Vieira, E. Garshick [et al.] // Science of the Total Environment. — 2022. — Vol. 838. — Part 3. — DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.156434.

28. Mitrea D.R. Antioxidant protection against cosmic radiation-induced oxidative stress at commercial flight altitude / D.R. Mitrea, H. Mortazavi Moshkenani, O.A. Hoteiuc [et al.] // Journal of Physiology and Pharmacology. — 2018. — Vol. 69. — № 4. — DOI: 10.26402/jpp.2018.4.03.

29. Martynyuk V.S. Eksperimental'naya verifikatsiya elektromagnitnoj gipotezy solnechno-biosfernykh svyazej [Experimental verification of the electromagnetic hypothesis of solar-biospheric connections] / V.S. Martynyuk, N.A. Temur'yants // Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Seriya: Biologiya, khimiya [Scientific Notes of the V.I. Vernadsky Taurida National University. Series: Biology, Chemistry]. — 2007. — Vol. 20 (59). — № 1. — P. 8–27. [in Russian]

30. Pinaev S.K. Rol' hema v ekologicheski obuslovlennom onkogeneze (obzor literatury) [The role of heme in environmentally caused oncogenesis (review)] / S.K. Pinaev // Ehkologiya cheloveka [Human Ecology]. — 2023. — Vol. 30. — № 1. — P. 5–15. — DOI: 10.17816/humeco115234. [in Russian]