

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco633016>

Минеральный состав и тип микрокристаллизации слюны у жителей крупных промышленных регионов

Е.А. Сарф¹, Л.В. Степанова², О.А. Коленчукова²⁻⁴, Л.В. Бельская¹¹ Омский государственный педагогический университет, Омск, Россия;² Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия;³ Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, Красноярск, Россия;⁴ Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Негативное влияние факторов окружающей среды отражается на состоянии организма человека, что ведёт к повышению показателей заболеваемости, зависящих от неблагоприятных факторов среды обитания. Оценка качества окружающей среды не теряет своей значимости, для каждого из крупных промышленных центров характерны свои региональные особенности.

Цель. Сравнение катионного и анионного состава и типов микрокристаллизации слюны жителей крупных промышленных центров на примере Омска и Красноярска.

Материалы и методы. Для поперечного исследования использовали образцы слюны жителей Омска ($n=82$) и Красноярска ($n=86$) 18–22 лет. Во всех пробах определяли содержание аммония, калия, натрия, магния, кальция, хлоридов, сульфатов, фторидов, фосфатов методом капиллярного электрофореза, а также проводили сравнение типов микрокристаллизации слюны. Статистическую обработку данных выполняли непараметрическим методом с использованием критерия Манна–Уитни при сравнении двух групп и критерия Краскела–Уоллиса при сравнении трёх и более групп.

Результаты. Между регионами наблюдаются статистически значимые различия по всем показателям, кроме содержания сульфатов в слюне. У жителей Красноярска концентрации ионов аммония, калия, кальция и всех анионов в слюне выше, чем у жителей Омска. Концентрация натрия и магния, напротив, выше у жителей Омска. Для всех показателей, кроме кальция, наблюдается повышение концентрации в подгруппе мужчин, независимо от региона. Различий в показателях микрокристаллизации слюны между городами не выявлено.

Заключение. Установлено, что концентрации элементов в составе слюны жителей Омска и Красноярска различны. При планировании исследований с использованием слюны в качестве биосубстрата необходимо учитывать региональные особенности, влияющие на состав слюны, обусловленные различными геохимическими и промышленными условиями. Таким образом, необходимо уточнение нормальных значений соответствующих показателей слюны для каждого города.

Ключевые слова: слюна; капиллярный электрофорез; катионы; анионы; микрокристаллизация; мониторинг; минеральный состав.

Как цитировать:

Сарф Е.А., Степанова Л.В., Коленчукова О.А., Бельская Л.В. Минеральный состав и тип микрокристаллизации слюны у жителей крупных промышленных регионов // Экология человека. 2024. Т. 31, № 7. С. 521–531. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco633016>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco633016>

Mineral composition and type of saliva microcrystallization in residents of major industrial regions

Elena A. Sarf¹, Lyudmila V. Stepanova², Oksana A. Kolenchukova^{2–4}, Lyudmila V. Bel'skaya¹

¹ Omsk State Pedagogical University, Omsk, Russia;

² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia;

³ Scientific Research Institute of Medical Problems of the North of the Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia;

⁴ Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The negative impact of environmental factors affects human health, leading to an increase in disease rates associated with unfavorable living conditions. Assessing environmental quality remains highly relevant, as each major industrial center has its own regional characteristics.

AIM: To compare the cationic and anionic composition and types of saliva microcrystallization in residents of major industrial centers, using Omsk and Krasnoyarsk as examples.

MATERIALS AND METHODS: A cross-sectional study was conducted using saliva samples from residents of Omsk ($n = 82$) and Krasnoyarsk ($n = 86$), aged 18–22 years. All samples were analyzed for ammonium, potassium, sodium, magnesium, calcium, chlorides, sulfates, fluorides, and phosphates using capillary electrophoresis, and the types of saliva microcrystallization were compared. Statistical analysis was performed using nonparametric methods, including the Mann–Whitney test for two-group comparisons and the Kruskal–Wallis test for comparisons involving three or more groups.

RESULTS: Significant regional differences were observed for all parameters except sulfate concentration in saliva. Residents of Krasnoyarsk had higher levels of ammonium, potassium, calcium, and all anions in their saliva compared to those from Omsk, whereas sodium and magnesium concentrations were higher in Omsk residents. In all parameters except calcium, increased concentrations were observed in male subgroups, regardless of region. No differences in saliva microcrystallization patterns were identified between the two cities.

CONCLUSION: The element concentrations in saliva differ between residents of Omsk and Krasnoyarsk. When planning studies using saliva as a biological substrate, it is essential to consider regional factors that influence its composition, which are determined by varying geochemical and industrial factors. Therefore, it is necessary to refine the normal reference values for saliva parameters specific to each city.

Keywords: saliva; capillary electrophoresis; cations; anions; microcrystallization; monitoring; mineral composition.

To cite this article:

Sarf EA, Stepanova LV, Kolenchukova OA, Bel'skaya LV. Mineral composition and type of saliva microcrystallization in residents of major industrial regions. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(7):521–531. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco633016>

Received: 30.05.2024

Accepted: 12.01.2025

Published online: 02.02.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco633016>

大型工业地区居民的唾液矿物成分与微结晶类型

Elena A. Sarf¹, Lyudmila V. Stepanova², Oksana A. Kolenchukova²⁻⁴, Lyudmila V. Bel'skaya¹¹ Omsk State Pedagogical University, Omsk, Russia;² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia;³ Scientific Research Institute of Medical Problems of the North of the Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia;⁴ Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk, Russia

摘要

背景。 环境因素的不利影响会对人体健康造成损害，导致受环境不良因素影响的相关疾病发病率上升。环境质量评估仍然具有重要意义，每个大型工业中心都具有其特定的区域特征。

研究目的。 比较大型工业城市居民（以鄂木斯克，Omsk 和克拉斯诺亚尔斯克，Krasnoyarsk 为例）的唾液阳离子和阴离子成分及微结晶类型。

材料与方法。 采用横断面研究方法，收集鄂木斯克（n=82）和克拉斯诺亚尔斯克（n=86）18-22 岁居民的唾液样本。通过毛细管电泳法检测所有样本中铵、钾、钠、镁、钙、氯离子、硫酸盐、氟化物和磷酸盐的含量，并对唾液的微结晶类型进行比较。数据的统计分析采用非参数方法，对两组数据进行曼-惠特尼（Mann - Whitney）检验，对三组及以上数据进行克拉斯克尔 - 沃利斯（Kruskal - Wallis）检验。

结果。 除唾液中硫酸盐含量外，其他所有指标在不同地区间均存在统计学显著差异。克拉斯诺亚尔斯克居民的唾液中铵、钾、钙和所有阴离子的浓度高于鄂木斯克居民，而鄂木斯克居民的钠和镁浓度更高。除钙外，所有指标在男性亚组中均呈现出更高的浓度，且这一趋势不受地区影响。两座城市间的唾液微结晶类型未见显著差异。

结论。 研究发现，鄂木斯克和克拉斯诺亚尔斯克居民唾液中的矿物元素含量存在差异。在以唾液作为生物基质进行研究时，应考虑因不同地球化学和工业条件所导致的区域特征对唾液成分的影响。因此，有必要针对不同城市进一步明确相应的唾液正常参考值。

关键词： 唾液；毛细管电泳；阳离子；阴离子；微结晶；监测；矿物成分。

引用本文：

Sarf EA, Stepanova LV, Kolenchukova OA, Bel'skaya LV. 大型工业地区居民的唾液矿物成分与微结晶类型. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(7):521–531. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco633016>

收到: 30.05.2024

接受: 12.01.2025

发布日期: 02.02.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Характерными особенностями развития современного общества являются быстрый рост городов, повышение численности городских жителей, а также переход сельских земель в городские. Система урбанизации приводит к увеличению концентрации промышленных производств, дорожных сетей и транспорта, густонаселённых жилых кварталов, оказывая всё большую нагрузку на окружающую среду и тем самым ухудшая санитарно-гигиеническую обстановку, что может привести к увеличению заболеваемости населения. Именно поэтому экологические проблемы крупных промышленных городов Российской Федерации не теряют своей актуальности [1]. В настоящее время необходимость своевременного контроля уровня экологической напряжённости не вызывает никаких сомнений. Комплексная оценка окружающей среды напрямую связана с состоянием здоровья населения [2, 3]. Экологическую ситуацию в городах определяет целый ряд факторов: специализация производств, которые располагаются в городе, динамика производства, тепловые электростанции, которые используют уголь, и т.д. Несмотря на то что для промышленных городов накоплен значительный опыт мониторинга выбросов, проблема оценки качества окружающей среды сохраняет свою значимость [4]. Города Омск и Красноярск, обладающие напряжённой экологической обстановкой, находятся в группе риска санитарно-эпидемиологического благополучия населения [5].

Негативное влияние факторов окружающей среды отражается на состоянии организма человека, что ведёт к повышению показателей заболеваемости, зависящих от неблагоприятных факторов среды обитания. Антропогенные факторы негативно воздействуют на организм, что приводит к дисбалансу важных элементов, нарушает структуру метаболизма электролитов, внося изменения в вегетативную нервную систему, а также энергетический и гормональный баланс организма [6]. Биоэлементы (катионы и анионы) жизненно необходимы для нормального функционирования организма человека [7]. Дисбаланс микро- и макроэлементов может привести к возникновению и развитию патологических процессов [8].

Изучение микроэлементного состава биологических жидкостей (крови, слюны, мочи и др.) можно использовать в качестве маркеров биологического мониторинга. Использование в качестве биосубстрата слюны человека имеет ряд преимуществ, по сравнению с венозной или капиллярной кровью, а именно неинвазивность сбора и отсутствие риска инфицирования при получении биоматериала [9, 10]. При этом слюна адекватно отражает биохимический статус и физиологическое состояние человека [11, 12]. Микроэлементный состав слюны показывает суммарное поступление загрязняющих веществ из атмосферного воздуха, воды, продуктов питания [13]. Кроме того, ряд важной информации о состоянии организма содержит кристаллическая структура его биологических жидкостей [14].

Кристаллографические методы исследования слюны позволяют получить сведения о метаболизме и гомеостазе организма, основанные на процессе кристаллообразования высушенного биологического материала с последующей интерпретацией результатов кристаллогенеза.

Цель исследования. Сравнение катионного и анионного состава и типов микрокристаллизации (МКС) слюны жителей крупных промышленных центров на примере Омска и Красноярска.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В поперечном исследовании принимали участие 166 студентов (средний возраст 20 ± 2 года), проживающих в Омске (82 человека, в том числе 68 женщин и 14 мужчин) и Красноярске (86 человек, в том числе 36 женщин и 50 мужчин). Пробы слюны собирали в 9–10 ч утра, натощак, без дополнительной стимуляции, после чистки зубов в соответствии с полученными ранее данными о времени максимальной секреции слюны. Затем пробы центрифугировали при 7000 об/мин в течение 10 мин.

В качестве критериев включения в исследование рассматривали отсутствие у испытуемых хронических заболеваний, признаков активной инфекции, а также воспалительных процессов в полости рта. Наличие хронических, воспалительных и инфекционных заболеваний было исключено путём анкетирования. Осмотры стоматолога и терапевта проведены в рамках плановой диспансеризации.

Исследование одобрено протоколом заседания этического комитета ОмГПУ № 46-04/3 от 17.04.2024. Предварительно получено добровольное информированное согласие участников эксперимента.

Определение катионного и анионного состава слюны проводили с использованием системы капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ-105М» («Люмэкс», Санкт-Петербург) [15]. В качестве источника света использовали дейтериевую лампу, а в качестве диспергирующего элемента — дифракционный монохроматор со спектральным диапазоном 190–380 нм и шириной спектрального интервала 20 нм, фотометрический детектор. Высоковольтный блок постоянного напряжения 1–25 кВ, с шагом 1 кВ, со сменной полярностью, ток 0–200 мкА. Капилляр кварцевый (общая длина капилляра 60 см, эффективная длина капилляра 50 см, внутренний диаметр 75 мкм) с жидкостным охлаждением и возможностью задавать и контролировать температуру теплоносителя (диапазон от -10 до $+30$ °C от температуры окружающей среды). Питание прибора — 187–242 В, 50/60 Гц.

Метод измерений основан на фильтровании, разбавлении отобранной пробы, дальнейшем разделении и количественном определении компонентов с косвенным детектированием при определённой длине волны. Нами подобраны условия определения катионного и анионного состава слюны: объём аликвоты исследуемого образца — 100 мкл, предварительное осаждение белков слюны

10% раствором трихлоруксусной кислоты, разбавление в 20 раз бидистиллированной водой [15]. Проверка правильности определения содержания аналитов проведена методом «введено–найдено», погрешность определения не превышает 10% во всём диапазоне концентраций.

Для определения типа МКС слюны каплю слюны объёмом 10 мкл помещали на предметное стекло и высушивали при температуре 20–25 °С, относительной влажности 65–70% и минимальной подвижности окружающего воздуха. При полной дегидратации капли получали высушенную пленку — фацию, которую далее исследовали под микроскопом. Оценку созданных образцов кристаллов проводили с помощью светового микроскопа «Микромед 2» (Санкт-Петербург, Россия) при увеличении в 40 раз. Для анализа типа МКС слюны использовали метод нативной кристаллизации, разработанный А.Б. Денисовым [16], МКС оценивали по шкале П.А. Леуса [17].

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы Statistica 10.0 (StatSoft). Предварительно проверяли характер распределения и гомогенность дисперсий в группах. Согласно тесту Шапиро–Уилка содержание всех определяемых параметров не соответствует нормальному распределению ($p < 0,05$). Проведённый тест на гомогенность дисперсий в группах (тест Бартлетта) позволил отклонить гипотезу, что дисперсии гомогенны по группам ($p < 0,0001$). Поэтому для обработки полученных данных применяли непараметрические методы статистики с использованием критерия Манна–Уитни при сравнении двух групп и критерия Краскела–Уоллиса при сравнении трёх и более групп. Результаты представлены в виде медианы и интерквартильного размаха (25–75%). Различия считали значимыми при $p < 0,05$.

Для оценки возможности разделения исследуемых групп проводили дискриминантный анализ с помощью программы Statistica 10.0 (StatSoft). Дискриминантный анализ позволяет изучать различия между двумя и более группами объектов по нескольким переменным одновременно. Основной целью дискриминации является нахождение такой линейной комбинации переменных, которая бы оптимально разделила рассматриваемые группы. Такая комбинация называется функцией дискриминации (канонической функцией). Для четырёх сравниваемых групп (Омск — женщины и мужчины, Красноярск — женщины и мужчины) необходимо построение трёх функций дискриминации. Наибольшей разделительной способностью обладает первая дискриминантная функция, поэтому на диаграмме рассеяния канонических значений по горизонтальной оси показан результат дискриминации с использованием первой функции (основание 1), по вертикальной оси — с использованием второй функции (основание 2). Качество дискриминации оценивается по смещению соответствующих точек относительно вертикальной и горизонтальной осей «0–0».

РЕЗУЛЬТАТЫ

На первом этапе исследования сравнили катионный и анионный состав слюны без учёта пола. Показано, что между городами наблюдаются статистически значимые различия по всем показателям, кроме содержания сульфатов в слюне (табл. 1).

Поскольку исследуемые группы были однородны по возрасту, но не однородны по полу, мы дополнительно провели сравнение катионного и анионного состава слюны в зависимости от пола (табл. 2). Расчёт критерия Краскела–Уоллиса показал, что различия между показателями сохраняются, при этом только для сульфатов не подтверждена статистическая значимость различий между городами с учётом пола добровольцев. У студентов Омска не обнаружено статистически значимых различий по полу, тогда как у студентов Красноярска подгруппы мужчин и женщин статистически значимо различаются по содержанию калия ($p=0,0469$) и натрия ($p=0,0146$). Интересно, что у жителей Красноярска концентрации ионов аммония, калия, кальция и всех анионов выше, чем соответствующее значение у жителей Омска. Для ионов натрия и магния наблюдается обратная тенденция: для подгрупп обоего пола концентрации выше у жителей Омска. Следует отметить, что для всех показателей, кроме ионов кальция, наблюдается повышение концентрации в подгруппе мужчин, независимо от города.

Изменение концентрации отдельных показателей относительно среднего значения для каждого города представлено в виде графика (рис. 1). Видно, что характер изменения показателей как для жителей Омска, так и Красноярска однонаправленный. Установлено, что значения всех определяемых показателей в группе мужчин выше средних значений для соответствующего города, тогда как в группе женщин — ниже. Исключение составляют ионы кальция.

Дополнительно провели сравнение всех четырёх групп методом дискриминантного анализа (рис. 2). Установлено, что главным фактором, определяющим разделение образцов на подгруппы, является город проживания. Как показано на диаграмме рассеяния канонических значений, все точки, соответствующие образцам жителей Красноярска, расположены левее вертикальной оси «0–0», тогда как правее сгруппированы точки, соответствующие образцам слюны испытуемых из Омска (см. рис. 2). Разделения подгрупп по полу на диаграмме не наблюдалось.

На заключительном этапе исследования определяли характер МКС слюны у всех добровольцев (рис. 3).

Анализ типов МКС показал, что правильные кристаллические структуры (5 баллов, «норма» в рисунке кристаллов) не были найдены ни в одном из исследуемых городов. Под воздействием неблагоприятных факторов отмечается разрушение чёткой структуры кристаллов (от 4 до 1 балла) или полное их отсутствие в поле зрения (0 баллов). В кристаллограммах жителей исследуемых

Таблица 1. Минеральный состав слюны жителей Омска и Красноярска
Table 1. Mineral composition of saliva of residents of Omsk and Krasnoyarsk

Показатель Indicator	Красноярск Krasnoyarsk		Омск Omsk		p-value
	Me [Q1; Q3]	Диапазон варьирования* The range of variation*	Me [Q1; Q3]	Диапазон варьирования The range of variation	
Аммоний, мг/л Ammonium (mg/l)	193,00 [133,9; 273,0]	19,3–712,8	152,4 [115,4; 200,3]	55,8–676,6	0,0105
Калий, ммоль/л Potassium (mmol/l)	15,70 [12,42; 19,30]	4,80–26,92	11,46 [9,04; 15,12]	2,73–28,23	<0,0001
Натрий, ммоль/л Sodium (mmol/l)	6,03 [4,02; 8,84]	1,18–26,37	7,30 [5,22; 8,93]	1,73–32,53	0,0241
Магний, ммоль/л Magnesium (mmol/l)	0,131 [0,094; 0,194]	0,031–0,488	0,251 [0,187; 0,322]	0,078–0,713	<0,0001
Кальций, ммоль/л Calcium (mmol/l)	0,95 [0,65; 1,25]	0,20–5,37	0,62 [0,44; 0,83]	0,19–2,13	<0,0001
Хлориды, ммоль/л Chlorides (mmol/l)	14,86 [12,76; 18,94]	6,29–38,70	10,99 [7,35; 15,90]	1,77–28,39	<0,0001
Сульфаты, мг/л Sulfates (mg/l)	32,54 [22,57; 44,41]	3,75–119,00	28,42 [10,51; 42,57]	4,72–164,70	0,0584
Фториды, мг/л Fluorides (mg/l)	4,74 [3,52; 6,19]	1,16–28,70	1,97 [1,14; 3,02]	0,38–6,75	<0,0001
Фосфаты, ммоль/л Phosphates (mmol/l)	3,75 [3,07; 4,81]	0,92–11,31	2,12 [1,29; 3,22]	0,43–8,23	<0,0001

* Минимальное и максимальное значения.
* Minimum and maximum values.

Таблица 2. Минеральный состав слюны жителей Омска и Красноярска в зависимости от пола
Table 2. Mineral composition of saliva of residents of Omsk and Krasnoyarsk depending on gender

Показатель Indicator	Красноярск Krasnoyarsk		Омск Omsk		Критерий Краскела–Уоллиса Kruskal–Wallis criterion p-value
	Женщины Women (n=36)	Мужчины Men (n=50)	Женщины Women (n=68)	Мужчины Men (n=14)	
Аммоний, мг/л Ammonium (mg/l)	170,7 [120,8; 221,8]	217,1 [140,1; 305,7]	144,5 [113,2; 196,8]	191,6 [138,5; 257,5]	12,92; 0,0048
Калий, ммоль/л Potassium (mmol/l)	14,84 [12,20; 16,91]	16,83 [13,10; 20,62]	11,45 [8,77; 15,10]	12,66 [10,17; 19,14]	24,56; <0,0001
Натрий, ммоль/л Sodium (mmol/l)	4,70 [3,65; 6,95]	7,01 [4,65; 10,15]	7,05 [5,18; 8,74]	8,70 [6,83; 12,91]	12,84; <0,0001
Магний, ммоль/л Magnesium (mmol/l)	0,122 [0,087; 0,165]	0,153 [0,098; 0,198]	0,250 [0,186; 0,342]	0,267 [0,230; 0,296]	49,86; <0,0001
Кальций, ммоль/л Calcium (mmol/l)	1,04 [0,72; 1,35]	0,89 [0,62; 1,24]	0,67 [0,46; 0,85]	0,52 [0,33; 0,70]	24,93; <0,0001
Хлориды, ммоль/л Chlorides (mmol/l)	13,95 [12,79; 16,82]	15,25 [12,59; 19,83]	10,13 [7,05; 15,59]	12,13 [9,46; 16,46]	24,27; <0,0001
Сульфаты, мг/л Sulfates (mg/l)	29,76 [20,60; 39,50]	34,41 [25,21; 48,79]	25,87 [9,72; 42,56]	34,29 [16,12; 55,88]	6,111; 0,1063
Фториды, мг/л Fluorides (mg/l)	4,63 [3,62; 6,18]	4,80 [3,43; 6,71]	1,97 [1,13; 2,88]	2,05 [1,16; 3,35]	57,78; <0,0001
Фосфаты, ммоль/л Phosphates (mmol/l)	3,73 [3,18; 5,54]	3,79 [3,05; 4,76]	1,88 [1,27; 3,28]	2,48 [2,12; 3,10]	40,64; <0,0001

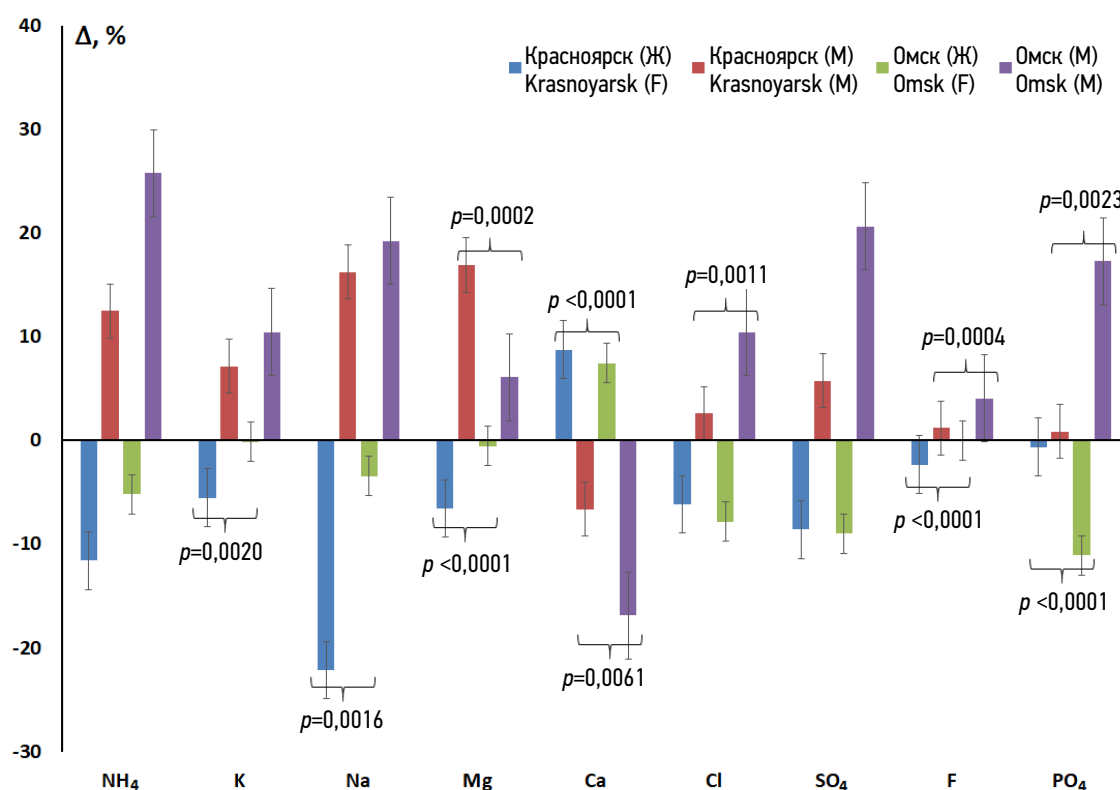


Рис. 1. Относительное изменение концентрации катионов и анионов в слюне в зависимости от пола для жителей Омска и Красноярска (%). Относительное изменение рассчитано как соответствующее значение для мужчин (М) и женщин (Ж) в каждом городе минус среднее значение для данного города, делённое на среднее значение (%). Различия между параметрами у добровольцев одного пола между городами статистически достоверны, $p < 0,05$.

Fig. 1. Relative change in the concentration of cations and anions in saliva depending on gender for residents of Omsk and Krasnoyarsk (%). Relative change is calculated as the corresponding value for male (M) and female (F) in each city minus the mean value for that city, divided by the mean value (%). The differences between the parameters in volunteers of the same sex between regions are statistically significant, $p < 0.05$.

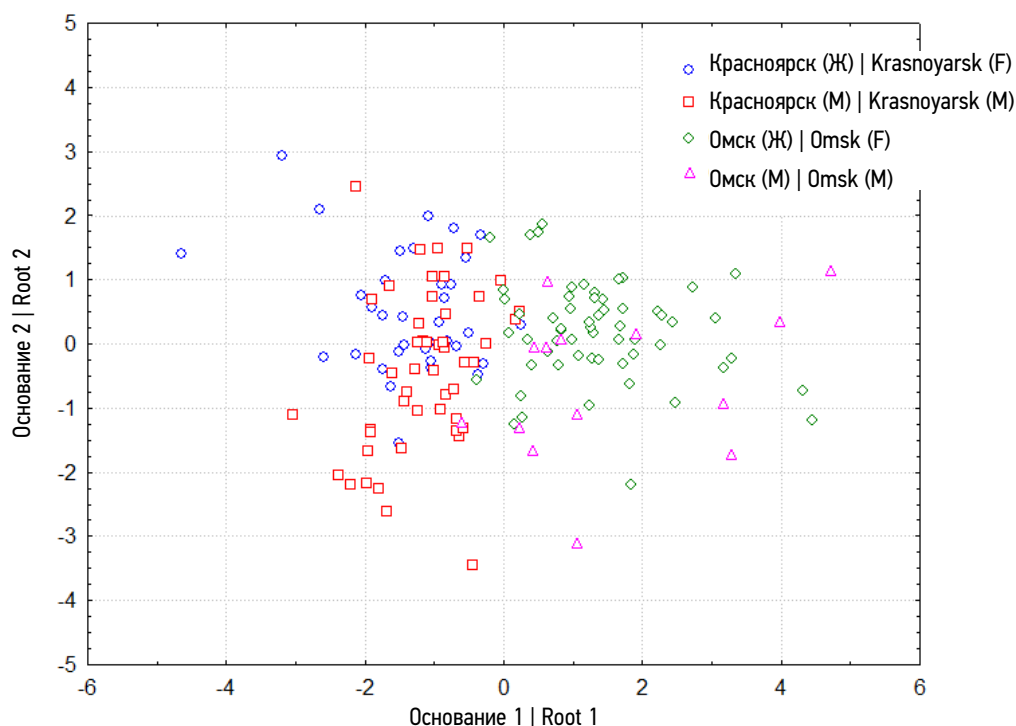


Рис. 2. Диаграмма рассеяния канонических значений для содержания катионов и анионов в слюне в зависимости от города проживания и пола.

Fig. 2. Scatterplot of canonical values for the content of cations and anions in saliva depending on the region of residence and gender.

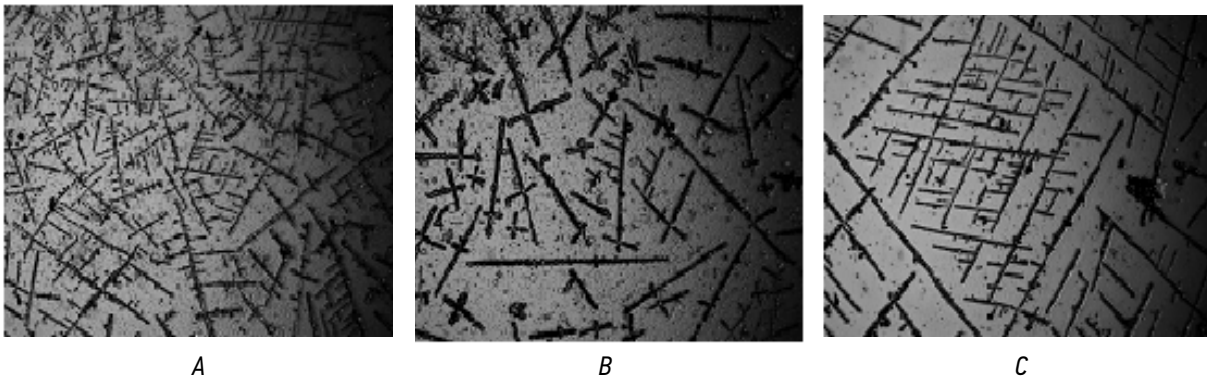


Рис. 3. Примеры основных типов микрокристаллизации слюны жителей Омска и Красноярска: *A* — 2 балла, *B* — 3 балла, *C* — 4 балла.
Fig. 3. Examples of the main types of microcrystallization of residents of Omsk and Krasnoyarsk: *A* — 2 points, *B* — 3 points, *C* — 4 points.

городов была схожая картина по количеству кристаллических структур. Чаще всего наблюдались кристаллические структуры, оцениваемые в 2 балла — 35 и 40% в Омске и Красноярске соответственно. В целом распределение по всем типа МКС в рассматриваемых городах можно оценивать как схожее (табл. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ

Омск и Красноярск входят в десятку городов России с неблагоприятной экологической обстановкой. В Омске хорошо развиты химическая и нефтехимическая промышленность, металлургия, машиностроение, производство электрооборудования, а также лёгкая, пищевая и полиграфическая промышленность. В Красноярске расположены крупные заводы космической, металлургической, машиностроительной, деревообрабатывающей, химической, пищевой промышленности. Именно поэтому качество окружающей среды данных регионов по основным показателям и нормативам находится примерно на одном невысоком уровне. Например, в Омске в 2023 г. зарегистрировано 79 случаев превышения предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ (в 2022 г. — 48). По результатам мониторинга атмосферного воздуха в 2023 г. уровень загрязнения атмосферного воздуха Омска ориентировочно оценивался как повышенный, индекс

загрязнения атмосферы (ИЗА₅) равен пяти — «средне-загрязнённый». В Красноярске, по сравнению с 2022 г., уровень загрязнения атмосферы по ИЗА не изменился — «очень высокий», ИЗА₅ — более 14. Основной вклад в уровень загрязнения в городах внесли бенз(а)пирен, формальдегид, взвешенные вещества, гидрохлорид, оксид азота. Среднегодовая температура в Омске составила +1,89 °С, в Красноярске +2,4 °С.

Известно, что элементный статус организма человека, в том числе слюны, во многом связан с регионом проживания и показывает общую нагрузку от деятельности предприятий, количества производственных отходов, а также иные последствия негативной деятельности производств.

Из представленных результатов видно, что концентрация ионов аммония, калия, натрия и кальция по городам отличается (см. табл. 1). Показано, что в Красноярске концентрации ионов аммония, калия, кальция, выше, чем соответствующие значения для Омска. Напротив, содержание натрия и магния выше в слюне жителей Омска. Вероятно, данные отличия связаны с составом питьевой воды в городах. Среди геоэкологических факторов риска здоровью населения качество питьевой воды находится на втором месте после загрязнения атмосферного воздуха [18]. Неблагоприятные природные факторы, характерные для различных регионов,

Таблица 3. Характеристика показателей микрокристаллизации слюны в зависимости от города проживания

Table 3. Characteristics of saliva microcrystallization indicators depending on the region of residence

Показатель типа микрокристаллизации, балл Indicator of the type of microcrystallization (point)	Частота встречаемости типа микрокристаллизации Frequency of occurrence of microcrystallization type		<i>p</i> -value
	Красноярск Krasnoyarsk	Омск Omsk	
0	8 (9%)	7 (9%)	0,9541
1	8 (9%)	9 (11%)	0,7542
2	34 (40%)	29 (35%)	0,6113
3	18 (21%)	18 (22%)	0,4258
4	18 (21%)	19 (23%)	0,5169
5	—	—	—

способствуют формированию гидрохимического состава воды с неоптимальным содержанием микро- и макроэлементов [19]. При этом содержание калия и натрия косвенно отражает состояние симпатоадреналовой системы, обеспечивающей ответ на изменяющиеся условия внешней среды [20]. Ионы магния и кальция являются универсальными регуляторами биохимических и физиологических процессов в организме, ионы магния является донором энергии в процессах жизнедеятельности клеток в виде Mg^{2+} -АТФ [21]. Ионы магния участвует в синтезе белка и нуклеиновых кислот. Изменение концентраций ионов магния и кальция под воздействием экологических факторов увеличивает риск сердечно-сосудистых заболеваний, а также известно, что ионы магния во внеклеточной жидкости ингибируют выброс нейромедиаторов (ацетилхолина и катехоламинов), являясь естественным антистрессовым фактором [22]. Однако, согласно докладам об экологической ситуации в регионах [23, 24], состояние питьевой водопроводной воды по санитарно-химическим показателям в пределах нормы, как и ее жесткость на уровне двух единиц. Отмечено, что в Омске статистически значимо повышена концентрация ионов магния в слюне, по сравнению с Красноярском. Предположительно это связано с определёнными геохимическими особенностями региона, а именно с содержанием магния в почвах [25]. В лугово-чернозёмных почвах Омска отмечена небольшая концентрация катионов натрия, а преобладают катионы кальция и магния. Кроме того, в грунтовых водах также повышена концентрация катионов кальция и магния [26].

Анионы (хлориды, фосфаты и фториды) поступают в организм преимущественно с питьевой водой, состав которой оказывает значительное влияние на формирование здоровья населения и напрямую зависит от уровня экологической напряжённости в регионе. Ионы хлорида обладают выраженной биологической активностью, переходя в галогенсодержащие соединения, имеющие мутагенный эффект [22]. Ионы фторида оказывают влияние на организм при длительном воздействии, а при избыточном содержании фторидов в организме возникает хроническая фтористая интоксикация [27, 28].

Так, при сравнении анионного состава статистически значимых отличий между регионами не отмечено только для сульфат-ионов. Содержание хлорид-, фосфат- и фторид-ионов выше в Красноярске. Установлено резко отличающееся увеличение концентрации фторид-ионов в слюне жителей Красноярска. Анионы в слюну попадают преимущественно с питьевой водой, состав которой оказывает значительное влияние на формирование здоровья населения. Повышенное содержание фторид-ионов в Красноярске, вероятно, связано с выделением фтористых соединений в процессе производства алюминия на заводе, расположенном в данном регионе [29]. Следует отметить, что концентрация фтора в питьевой водопроводной воде не превышает установленных норм [24].

Интересно, что значения всех определяемых показателей в группе мужчин выше средних значений для соответствующего региона, тогда как в группе женщин — ниже (см. табл. 2). Исключение составляют ионы кальция. Возможно, это связано с различным гормональным статусом мужчин и женщин. Расчёт изменения концентраций отдельных показателей относительно среднего значения для каждого региона, представленный в виде графика (см. рис. 1), показывает, что характер изменения показателей как у жителей Омска, так и у жителей Красноярска одинаправленный.

Результаты исследования МКС слюны показывают отклонение от нормы и отсутствие (5 баллов) I типа кристаллизации в обоих регионах. Данные сведения говорят о снижении минерализующего потенциала слюны. Наблюдается преобладание разрушенных кристаллов (от 4 до 1 балла) или их полное отсутствие в поле зрения (0 баллов), что, вероятно, связано как с состоянием полости рта, так и с наличием постоянного негативного влияния факторов окружающей среды на состояние здоровья в целом [30].

Установлено, что концентрации элементов в составе слюны жителей крупных промышленных городов Омска и Красноярска различны. При сравнительных исследованиях с использованием слюны в качестве биологической жидкости необходимо учитывать, что результаты, полученные в разных регионах, могут существенно различаться даже в норме. Это обусловлено различным «элементным» статусом регионов, в которых проживают исследуемые группы добровольцев, особенно связанным с геохимическими и промышленными особенностями [7]. Поэтому мы рекомендуем во всех случаях опираться не только на литературные данные для сравнения, но и дополнительно анализировать контрольную группу из числа добровольцев, проживающих в том же регионе, где выполняются исследования. Это позволит избежать ошибок и неточностей в интерпретации результатов. В целом мониторинг содержания микроэлементов в организме по слюне человека является перспективным направлением исследований и позволяет оценить стабильность их химического состава, а также отражает степень влияния экологической обстановки [31].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день приведено множество доказательств существования причинно-следственных связей между качеством окружающей среды и состоянием здоровья населения. Именно поэтому необходим своевременный мониторинг состояния организма людей, проживающих в крупных промышленных центрах. Изучение состава слюны человека позволяет своевременно выявить возможный дисбаланс элементов, обусловленный действием антропогенных факторов. При сравнении катионного и анионного состава слюны жителей Омска и Красноярска отмечены различия в концентрациях

электролитов. По результатам исследования типов МКС слюны показано отсутствие I типа кристаллизации в обоих городах. Таким образом, при проведении исследований с использованием слюны в качестве биосубстрата необходимо учитывать региональные особенности и состояние окружающей среды.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Л.В. Бельская — организация и дизайн исследования, редакция и утверждение окончательного варианта статьи; Е.А. Сарф, Л.В. Степанова — сбор и анализ данных; О.А. Коленчукова — подготовка первого варианта 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. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

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

Информированное согласие на участие в исследовании. Все участники до включения в исследование добровольно подписали форму информированного согласия, утверждённую в составе протокола исследования этическим комитетом.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. L.V. Bel'skaya — organization and design of the study, revision and approval of the final version of the article; E.A. Sarf, L.V. Stepanova — data collection and analysis; O.A. Kolenchukova — preparation of the first version of 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. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors confirm the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Patients' consent. Written consent was obtained from all the study participants before the study screening in according to the study protocol approved by the local ethic committee.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Lyakhovenko OI, Chulkov DI. The main environmental problems of Russian cities and the strategy for resolving them. *Russian Political Science*. 2017;(3):21–26. (In Russ.) EDN: YRGRDZ
- Korotkov PA, Trubyanov AB, Gismieva AI, et al. Relationship between the incidence of socially significant diseases and sanitary and ecological parameters of the environment throughout municipal entities in the Mari El Republic. *Ekologiya cheloveka (Human ecology)*. 2022;29(8):577–585. doi: 10.17816/humeco89724 EDN: QCOMDU
- Karelin AO, Lomtev AY, Volkodaeva MV, Yerein GB. The improvement of approaches to the assessment of effects of the anthropogenic air pollution on the population in order to management the risk for health. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019;98(1):82–86. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-82-86 EDN: YWAHHV
- Klepikov OV, Samoylov AS, Ushakov IB, et al. Comprehensive assessment of the industrial environment of the industrial city. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018;97(8):686–692. doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-8-686-692 EDN: YBKAWT
- Fadeev VA, Kochurov BI, Ermolaev IK, Lobkovsky VA. On the possible change in the dynamic balance of the environment to improve the ecological situation in the Krasnoyarsk and Omsk regions. *Problems of regional ecology*. 2018;(6):144–148. doi: 10.24411/1728-323X-2019-16144 EDN: PNSYUJ
- Kolycheva IV, Rychagova OA, Lizarev AV. Impact of labour activity factors on sodium level in saliva of firefighters. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015;94(4):44–47. EDN: UHKWAP
- Savinov SS, Drobyshch AI. Influence of individual and subpopulation factors on the concentration of major and trace elements in saliva. *Ekologiya cheloveka (Human ecology)*. 2022;29(10):689–698. doi: 10.17816/humeco109909 EDN: NAEGBU
- Markova EO, Koryakina YuP, Farashchuk NF, Kigan MA. Influence of drinking water chemical substances on public health. *Vestnik of the Smolensk State Medical Academy*. 2023;22(1):239–249. doi: 10.37903/vsgma.2023.1.31 EDN: WBSRHP
- Sanguos CL, García LG, Suárez OL, et al. Non-invasive biomonitoring of infant exposure to environmental organic pollutants in north-western Spain based on hair analysis. Identification of potential sources. *Environmental Pollution*. 2023;339:122705. doi: 10.1016/j.envpol.2023.122705
- Malathi N, Mythili S, Vasanthi HR. Salivary diagnostics: a brief review. *ISRN Dentistry*. 2014;2014:158786. doi: 10.1155/2014/158786
- Song M, Bai H, Zhang P, et al. Promising applications of human-derived saliva biomarker testing in clinical diagnostics. *International Journal of Oral Science*. 2023;15(1):2. doi: 10.1038/s41368-022-00209-w
- Huang Z, Yang X, Huang Y, et al. Saliva — a new opportunity for fluid biopsy. *Clin Chem Lab Med*. 2022;61(1):4–32. doi: 10.1515/cclm-2022-0793
- Sarf EA, Dergacheva MV, Zharkikh LA, Bel'skaya LV. Environmental monitoring using adolescents' saliva in Omsk. *Ekologiya cheloveka (Human ecology)*. 2021;28(11):12–19. doi: 10.33396/1728-0869-2021-11-12-19 EDN: CYIQXC
- Kazakova YM, Savostsikava VS. Diagnostic possibilities of studying the crystal structure of biological fluids under various pathological conditions of the organism. *Meditsinskiye Novosti*. 2023;(2):21–24. EDN: NDODZN
- Vagner VD, Sarf EA, Belskaya LV, et al. Prognostic significance of oral fluid fluoride measurement in acute pericoronitis. *Bulletin of Russian State Medical University*. 2022;(4):57–64. doi: 10.24075/vrgmu.2022.042 EDN: GTMSYH
- Barer GM, Denisov AB. *Crystallographic method for studying saliva*. Moscow: VUNMC Roszdrav; 2008. (In Russ.) EDN: QKRGUF
- Belskaya LV. *Saliva as an object of clinical laboratory diagnostics*. Omsk: Omskblankizdat; 2015. (In Russ.) EDN: XWFHIK
- Sazonova OV, Sergeev AK, Chupakhina LV, et al. Analyzing health risks caused by contaminated drinking water (experience gained in Samara region). *Health Risk Analysis*. 2021;(2):41–51. doi: 10.21668/health.risk/2021.2.04 EDN: EFWWCD
- Belokonova NA, Polushina LG, Lelekova RP. Monitoring the status of water and electrolyte balance of the body. *Public Health and Life Environment*. 2016;(7):8–11. EDN: WFFZTN
- Khalatov V.A., Nevzorova E.V., Gulina A.V. Using saliva as test object, ecological-analytical monitoring of trace elements. *Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*. 2013;18(6-2):3250–3252. EDN: RTWNHL
- Baryshnikova GA, Chorbinskaya SA, Stepanova II, Blokhina OE. Potassium and magnesium deficiency, its role in cardiovascular disease development and possibilities of correction. *Consilium Medicum*. 2019;21(1):67–73. doi: 10.26442/20751753.2019.1.19024 EDN: LUGJYU

22. Grigus Yal, Mikhaylova OD, Gorbunov AYU, Vakhrushev YaM. Significance of magnesium in physiology and pathology of the digestive system. *Experimental and Clinical Gastroenterology Journal*. 2015;(6):89–94. EDN: UHYNRR
23. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Omsk Region. *Report on the environmental situation in the Omsk region for 2022*. Omsk: Omskblankizdat; 2023. (In Russ.)
24. Ministry of Ecology and Rational Natural Resources Management of the Krasnoyarsk Territory. *State report on the state and protection of the environment in the Krasnoyarsk Territory in 2022*. Krasnoyarsk: KGBU TsRMPiOOS; 2023. (In Russ.)
25. Yahyaev MA, Salikhov ShK, Abdulkadyrova SO, et al. Contents of magnesium in the environment and population morbidity rate of arterial hypertension. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019;98(5):494–497. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-5-4 EDN: DNTINT
26. Boiko VS, Timokhin AYU, Mikhailov VV. Fertility of irrigated lands in the south forest-steppe of the Omsk Region. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021;(4):40–49. doi: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-40-49 EDN: ZLZCYG
27. Sokolov AV, Kostina DA, Marinchev SS, et al. The significance of detection of nitrites in oral fluid of healthy people. *Clinical Laboratory Diagnostics*. 2018;63(4):215–219. doi: 10.18821/0869-2084-2018-63-4-215-219 EDN: YXJGRC
28. Michalke B, Rossbach B, Göen T, et al. Saliva as a matrix for human biomonitoring in occupational and environmental medicine. *Int Arch Occup Environ Health*. 2015;88(1):1–44. doi: 10.1007/s00420-014-0938-5
29. Yadykina TK, Mikhailova NN, Kochergina TV, Zhukova AG. Associations of the 283 A>G (BSMI) polymorphism of the VDR gene with mineral bone tissue density in aluminum industry workers. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2022;62(9):579–587. doi: 10.31089/1026-9428-2022-62-9-579-587 EDN: AJTYAB
30. Kudaeva IV, Dyakovich OA, Beygel EA, et al. Clinical, biochemical and allergological indices characterizing occupational diseases of the bronchial and pulmonary system in employees at aluminium production. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016;95(12):1142–1145. doi: 10.18821/0016-9900-2016-95-12-1142-1145 EDN: XQRZPD
31. Saeed OAS. Differences in the microcrystallization of the oral fluid of patients with bacterial and viral infections. *Meditinskiye Novosti*. 2022;(4):52–54. EDN: WPCSWL

ОБ АВТОРАХ

***Бельская Людмила Владимировна**, канд. хим. наук;
адрес: Россия, 644099, Омск, ул. Набережная Тухачевского, д. 14;
ORCID: 0000-0002-6147-4854;
eLibrary SPIN: 4189-7899;
e-mail: belskaya@omgpu.ru

Сарф Елена Александровна;
ORCID: 0000-0003-4918-6937;
eLibrary SPIN: 9161-0264;
e-mail: sarf_ea@omgpu.ru

Степанова Людмила Васильевна, доцент;
ORCID: 0000-0001-5503-4898;
eLibrary SPIN: 7940-6589;
e-mail: slyudmila@mail.ru

Коленчукова Оксана Александровна, д-р биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0001-9552-447X;
eLibrary SPIN: 8008-5580;
e-mail: Kalina-chyikova@mail.ru

AUTHORS' INFO

***Lyudmila V. Bel'skaya**, Cand. Sci. (Chemistry);
address: 4 Tukhachevsky st, Omsk, Russia, 644099;
ORCID: 0000-0002-6147-4854;
eLibrary SPIN: 4189-7899;
e-mail: belskaya@omgpu.ru

Elena A. Sarf;
ORCID: 0000-0003-4918-6937;
eLibrary SPIN: 9161-0264;
e-mail: sarf_ea@omgpu.ru

Lyudmila V. Stepanova, Assistant Professor;
ORCID: 0000-0001-5503-4898;
eLibrary SPIN: 7940-6589;
e-mail: slyudmila@mail.ru

Oksana A. Kolenchukova, Dr. Sci. (Biology), Assistant Professor;
ORCID: 0000-0001-9552-447X;
eLibrary SPIN: 8008-5580;
e-mail: Kalina-chyikova@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author