

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ СЛЮНЫ ПОДРОСТКОВ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ОМСКА

© 2021 г. Е. А. Сарф, М. В. Дергачева, Л. А. Жарких, Л. В. Бельская

ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет», г. Омск

Введение: Эффективным путем повышения качества здоровья населения является поиск ранних предпатологических изменений в организме под воздействием множества техногенных факторов, что позволит составить прогнозы донозологического состояния на перспективу.

Цель: Оценить влияние окружающей среды по биохимическим показателям слюны подростков, проживающих в районах с различным уровнем экологической напряженности.

Методы: В исследовании приняли участие 90 подростков в возрасте от 14 до 17 лет (39 мальчиков, 51 девочка), проживающие в шести административных округах г. Омска с различным уровнем загрязнения окружающей среды. Пробы слюны собирали утром натощак, определяли биохимический состав по 22 показателям. Межгрупповые различия оценены непараметрическим критерием и методом главных компонент (РСА). Результаты: Установлено, что в самостоятельном варианте ни один из определяемых параметров слюны не может быть использован для характеристики района проживания. Методом РСА показано, что максимальный вклад в разделение вносят электролитные компоненты, белок и триеновые конъюгаты (ТК). При этом районы с максимальными отличиями по исследуемым биохимическим параметрам слюны территориально удалены друг от друга. Так, в экологически неблагоприятных районах в слюне максимален уровень ТК – 0,954 (0,677; 1,019) у. е. и минимально содержание хлоридов – 8,4 (5,9; 10,6) ммоль/л. Обратная тенденция наблюдается для экологически благополучных районов: уровень ТК понижается – 0,864 (0,792; 1,018) у. е., содержание хлоридов растет – 16,1 (9,7; 18,6) ммоль/л. Выявлена комбинация показателей слюны, которая позволяет в интегральной форме характеризовать состояние организма.

Выводы: Использование многомерного анализа биохимических показателей слюны позволяет оценить степень благополучия экологической ситуации в районах проживания, что согласуется с результатами экологического мониторинга в соответствующих районах.

Ключевые слова: слюна, электролиты, эндогенная интоксикация, экологический мониторинг, подростки

ENVIRONMENTAL MONITORING USING ADOLESCENTS' SALIVA IN OMSK

E. A. Sarf, M. V. Dergacheva, L. A. Zharkikh, L. V. Bel'skaya

Omsk State Pedagogical University, Omsk, Russia

Introduction: An effective way to improve the quality of public health is to search for early, pre-pathological changes in the body under the influence of many technogenic factors, which will make it possible to make predictions of the pre-nosological state for the future.

Aim: To assess the impact of the environment on the biochemical parameters of saliva in adolescents living in areas with different levels of environmental stress.

Methods: The study involved 90 adolescents aged 14 to 16 years (39 boys, 51 girls), living in six administrative districts of Omsk with different levels of environmental pollution. Saliva samples were collected in the morning on an empty stomach, and the biochemical composition was determined using 22 parameters. Intergroup differences were assessed by a nonparametric criterion and principal component analysis (PCA).

Results: None of the parameters measured in saliva can be used to characterize the area of residence. PCA showed that the maximum contribution was made by electrolyte components, protein, and triene conjugates (TC). At the same time, the regions with the maximum differences in the studied biochemical parameters of saliva are geographically distant from each other. So, in ecologically unfavorable areas in saliva the TC level is the highest 0.954 (0.677; 1.019) c. u. and the chloride content is the lowest 8.4 (5.9; 10.6) mmol/L. The opposite trend is observed for ecologically safe areas: the TC level decreases 0.864 (0.792; 1.018) c. u., the chloride content increases 16.1 (9.7; 18.6) mmol/L. A combination of indicators of saliva was revealed, which allows characterizing the state of the body in an integral form.

Conclusions: The use of PCA of biochemical parameters of saliva allows monitoring of the ecological situation in the areas of residence supporting the evidence from environmental monitoring in the study area.

Key words: saliva, electrolytes, endogenous intoxication, environmental monitoring, adolescents

Библиографическая ссылка:

Сарф Е. А., Дергачева М. В., Жарких Л. А., Бельская Л. В. Мониторинг состояния окружающей среды по показателям слюны подростков на примере города Омска // Экология человека. 2021. № 11. С. 12–19.

For citing:

Sarf E. A., Dergacheva M. V., Zharkikh L. A., Bel'skaya L. V. Environmental Monitoring Using Adolescents' Saliva in Omsk. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021, 11, pp. 12-19.

Введение

Организм человека постоянно находится в тесном контакте с окружающей средой. Крайне важно вовремя оценивать антропогенные источники загрязнения и их влияние на формирование отдаленных последствий для здоровья населения, что может в дальнейшем проявиться в изменении параметров обмена веществ [13]. В связи с этим существует реальная потребность в мониторинге экологического фона региона проживания [9]. Эффективным путем повышения качества здоровья населения является поиск ранних предпатологических изменений в организме под воздействием множества техногенных факторов, что позволит составить прогнозы донозологического состояния на перспективу. В крупных промышленных городах нарушению эндоэкологического статуса особенно подвержен детский организм. Техногенное воздействие приводит к снижению иммунологической резистентности организма, что проявляется в повышении заболеваемости [8]. Под воздействием неблагоприятных факторов окружающей среды в организме человека происходит активация системы перекисного окисления липидов (ПОЛ), что приводит к истощению общих возможностей собственной антиоксидантной системы (АОС) [20], а также к накоплению в организме среднемолекулярных токсинов (фактор эндогенной интоксикации) [15]. Известно, что элементный статус организма формируется под влиянием ряда факторов (характер питания, профессиональное воздействие, место проживания) и отражает суммарное поступление загрязняющих веществ из окружающей среды [12].

Перспективным направлением методов лабораторного анализа в настоящее время является саливодигностика [6], имеющая существенные преимущества, в том числе при работе с детьми, а именно: безболезненность, неинвазивность, информативность, широкую доступность [21, 22]. При этом слюна адекватно отражает минеральный, белковый, биохимический статус и физиологическое состояние организма человека, что позволяет использовать ее в клинической лабораторной диагностике [19]. Цель исследования — определить потенциальную возможность использования биохимических показателей слюны подростков для оценки уровня экологической напряженности в районах проживания.

Методы

Исследование проведено в сентябре 2020 года. В нем принимали участие 90 подростков в возрасте от 14 до 17 лет (39 мальчиков, 51 девочка), проживающие в шести административных округах г. Омска с различным уровнем загрязнения окружающей среды (табл. 1) [5]. Так, в Кировском округе (КАО) расположено около 70 предприятий химической и пищевой промышленности, а также аэропорт. В Советском округе (САО) находится крупнейший нефтеперерабатывающий комплекс и порядка 30 предприятий химической и пищевой промыш-

ленности. В Ленинском округе (ЛАО) расположено производственное объединение по изготовлению телевизионной и радиотехнической аппаратуры, речной порт и хлебозавод. Поскольку Центральный административный округ (ЦАО) территориально самый большой, он дополнительно разделен на ЦАО1 и ЦАО2. Для данных округов характерно минимальное количество промышленных предприятий, в том числе агрегатный завод, пищевые производства в ЦАО1 и предприятия водного транспорта, радиозавод в ЦАО2. В Октябрьском округе (ОАО) расположены крупные военно-промышленные предприятия, часть которых в настоящее время не функционирует.

Предварительно получено добровольное информированное согласие родителей или законных представителей детей. Наличие хронических, воспалительных и инфекционных заболеваний было исключено путем предварительного анкетирования участников эксперимента. Осмотр стоматолога проведен в рамках плановой диспансеризации.

Таблица 1

Описание исследуемой группы

| Район проживания | Обозначение | Число человек | Возраст, лет |
|------------------|-------------|---------------|-------------------|
| Кировский | КАО | 15 | 17,3 (17,3; 17,5) |
| Ленинский | ЛАО | 13 | 16,7 (16,4; 17,5) |
| Советский | САО | 12 | 16,4 (15,9; 17,6) |
| Октябрьский | ОАО | 14 | 17,3 (16,4; 17,5) |
| Центральный 1 | ЦАО1 | 16 | 16,2 (15,4; 17,2) |
| Центральный 2 | ЦАО2 | 20 | 16,5 (15,7; 17,3) |

Пробы слюны собирали утром натошак после чистки зубов в 9–10 часов утра в соответствии с полученными ранее данными о суточной динамике состава слюны, после чего центрифугировали при 7 000 об/мин в течение 10 минут [16]. Во всех образцах определяли биохимические параметры, включая белковый, минеральный состав, активность некоторых ферментов, а также показатели эндогенной интоксикации (молекулы средней массы — МСМ) и системы ПОЛ (диеновые и триеновые конъюгаты, основания Шиффа, у. е.), общий антиоксидантный статус (АОС, ммоль/л), уровень иммуноглобулинов (ИГ, мкг/мл). Белок определяли по реакции с пирогаллоловым красным с использованием набора ЗАО «Вектор-Бест» (г. Новосибирск). Микроэлементный состав (калий, натрий, магний, кальций, хлориды, фосфаты, нитриты, нитриты) оценивали методом капиллярного электрофореза (КАПЕЛЬ 105М Люмэкс) [1]. Антиоксидантную активность (АОА) определяли по регистрации скорости окисления восстановленной формы 2,6-дихлорфенолиндофенола (2,6-ДХФИФ) кислородом, растворенным в реакционной среде, для тестирования уровня ИГ использовали натрий-сульфитный преципитационный тест [2], активность каталазы по Королюку и соавт. [7], среднемолекулярные токсины (МСМ) определяли методом УФ-спектрофотометрии при длинах волн 254 и 280 нм [3]. Для определения диеновых конъюгатов (ДК),

триеновых конъюгатов (ТК) и оснований Шиффа (ОШ) использовался спектрофотометрический метод И. А. Волчегорского [15].

Статистическая обработка результатов проведена с использованием программы Statistica 10.0 (StatSoft).

Результаты представлены в виде медианы и интерквартильного размаха (25–75 %). Различия считали значимыми при $p < 0,05$. Попарное сравнение проведено с использованием критерия Манна — Уитни. Анализ методом главных компонент (РСА) выполнен

Таблица 2

| Биохимический состав слюны в зависимости от района проживания | | | | | | |
|---|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--|--|-------------------------|
| Показатель | КАО (1) | ЛАО (2) | ОАО (3) | САО (4) | ЦАО 1 (5) | ЦАО 2 (6) |
| Минеральный состав | | | | | | |
| pH | 6,82 (6,74; 6,89) | 6,98 (6,67; 7,04) | 6,83 (6,66; 6,98) | 7,08 (6,84; 7,17) | 6,98 (6,55; 7,14) | 6,74 (6,44; 6,94) |
| | — | — | — | — | — | $p_{4-6}=0,0186$ |
| Аммоний, ммоль/л | 195,5 (127,1; 285,0) | 218,2 (214,3; 301,6) | 190,6 (186,5; 218,8) | 164,3 (71,2; 488,9) | 236,0 (148,6; 340,8) | 202,9 (135,9; 287,9) |
| Калий, ммоль/л | 15,2 (13,1; 17,9) | 20,1 (17,4; 22,0) | 17,0 (16,3; 18,2) | 17,2 (8,3; 25,0) | 18,9 (15,9; 21,9) | 18,1 (16,0; 21,3) |
| | $p_{1-5}=0,0434$ | — | — | — | — | — |
| Натрий, ммоль/л | 9,0 (7,4; 9,9) | 7,5 (5,0; 9,5) | 7,7 (5,0; 11,4) | 5,2 (2,9; 10,8) | 11,6 (8,1; 15,3) | 8,7 (5,8; 13,5) |
| | — | — | — | $p_{4-5}=0,0151$ | $p_{2-6}=0,0235$, $p_{3-6}=0,0416$, $p_{4-6}=0,0068$ | — |
| Магний, ммоль/л | 0,217 (0,181; 0,277) | 0,253 (0,187; 0,381) | 0,277 (0,189; 0,303) | 0,235 (0,220; 0,468) | 0,239 (0,219; 0,301) | 0,242 (0,159; 0,346) |
| Кальций, ммоль/л | 1,87 (1,53; 2,43) | 1,63 (1,13; 2,61) | 1,99 (1,54; 2,15) | 1,96 (1,00; 2,38) | 1,78 (1,42; 2,65) | 1,90 (1,52; 2,65) |
| | 13,3 (10,6; 14,8) | 16,2 (13,3; 26,1) | 13,7 (11,7; 17,1) | 8,4 (5,9; 10,6) | 16,1 (9,7; 18,6) | 15,1 (11,6; 18,8) |
| Хлориды, ммоль/л | $p_{1-4}=0,0192$ | $p_{2-4}=0,0129$ | $p_{3-4}=0,0072$ | $p_{1-4}=0,0192$ $p_{2-4}=0,0129$ $p_{3-4}=0,0072$ $p_{4-5}=0,0035$ | $p_{4-6}=0,0111$ | $p_{4-6}=0,0040$ |
| Нитриты, мкмоль/л | 39,3 (24,3; 60,8) | 34,6 (23,9; 73,7) | 36,1 (29,9; 50,7) | 15,0 (10,0; 41,5) | 31,8 (19,5; 52,6) | 33,6 (23,1; 43,4) |
| | — | — | — | $p_{4-5}=0,0379$ | — | $p_{4-6}=0,0464$ |
| Нитраты, мкмоль/л | 19,1 (6,9; 36,0) | 48,8 (23,1; 50,0) | 15,4 (12,6; 24,9) | 10,8 (7,8; 29,1) | 13,8 (9,7; 25,1) | 17,4 (11,3; 23,3) |
| | — | $p_{2-5}=0,0151$ | — | — | — | — |
| Фосфаты, ммоль/л | 259,1 (187,5; 337,1) | 326,0 (284,0; 602,4) | 278,2 (229,7; 355,2) | 178,8 (123,4; 302,3) | 242,8 (190,5; 273,5) | 275,7 (208,0; 319,8) |
| NO ₂ /NO ₃ , у. е. | 2,15 (1,31; 4,74) | 1,38 (0,99; 1,63) | 2,12 (1,51; 2,44) | 1,91 (1,75; 2,32) | 1,82 (1,64; 2,29) | 2,02 (1,46; 5,05) |
| | — | $p_{2-3}=0,0376$ $p_{2-6}=0,0100$ | $p_{2-3}=0,0376$ | — | $p_{2-6}=0,0108$ | $p_{2-6}=0,0267$ |
| Na/K, у. е. | 0,577 (0,350; 0,696) | 0,430 (0,330; 0,462) | 0,434 (0,306; 0,523) | 0,444 (0,203; 0,837) | 0,705 (0,448; 0,833) | 0,425 (0,331; 0,656) |
| Перекисное окисление липидов и эндогенная интоксикация | | | | | | |
| ДК, у. е. | 4,07 (3,88; 4,29) | 4,13 (4,11; 4,23) | 4,14 (4,07; 4,28) | 4,13 (3,97; 4,52) | 4,24 (4,06; 4,38) | 4,26 (4,12; 4,35) |
| ТК, у. е. | 0,947 (0,841; 0,998) | 0,888 (0,778; 1,000) | 0,926 (0,864; 0,998) | 0,954 (0,677; 1,019) | 0,864 (0,792; 1,018) | 0,882 (0,807; 0,964) |
| ОШ, у. е. | 0,409 (0,389; 0,462) | 0,429 (0,422; 0,446) | 0,451 (0,414; 0,479) | 0,441 (0,396; 0,495) | 0,438 (0,418; 0,460) | 0,427 (0,414; 456) |
| Общий белок, г/л | 0,59 (0,51; 0,70) | 0,45 (0,40; 0,74) | 0,47 (0,30; 0,70) | 0,22 (0,09; 0,67) | 0,39 (0,30; 0,62) | 0,47 (0,35; 0,68) |
| МСМ 254, у. е. | 0,231 (0,167; 0,296) | 0,195 (0,193; 0,314) | 0,206 (0,147; 0,322) | 0,164 (0,150; 0,370) | 0,189 (0,157; 0,296) | 0,220 (0,132; 0,260) |
| МСМ 280, у. е. | 0,201 (0,148; 0,242) | 0,154 (0,151; 0,293) | 0,175 (0,120; 0,271) | 0,143 (0,121; 0,283) | 0,198 (0,135; 0,251) | 0,193 (0,127; 0,226) |
| МСМ 280/254, у. е. | 0,821 (0,801; 0,916) | 0,785 (0,774; 0,861) | 0,832 (0,782; 0,881) | 0,822 (0,807; 0,917) | 0,847 (0,787; 0,874) | 0,856 (0,826; 0,941) |
| Система антиоксидантной защиты | | | | | | |
| АОА, ммоль/л | 2,36 (1,89; 2,47) | 2,07 (1,78; 2,36) | 2,14 (1,96; 2,39) | 2,21 (1,78; 2,36) | 1,89 (1,47; 2,29) | 2,09 (1,85; 2,43) |
| Каталаза, нкат/л | 3,63 (3,06; 3,88) | 3,66 (3,13; 5,70) | 3,56 (3,16; 4,09) | 3,21 (3,06; 3,89) | 2,96 (2,54; 4,28) | 3,47 (2,89; 4,57) |
| Иммунологический статус | | | | | | |
| ИГ, мкг/мл | 0,291 (0,224; 0,358) | 0,179 (0,134; 0,224) | 0,201 (0,134; 0,358) | 0,313 (0,179; 0,358) | 0,179 (0,134; 0,313) | 0,179 (0,089; 0,313) |
| | $p_{1-2}=0,0351$ | $p_{1-2}=0,0351$ | — | — | — | — |

Примечание. ДК — диеновые конъюгаты; ТК — триеновые конъюгаты; ОШ — основания Шиффа; МСМ — среднемолекулярные токсины (фракции 254 и 280 нм); АОА — антиоксидантная активность; ИГ — иммуноглобулины; p — статистически значимые различия между соответствующими группами.

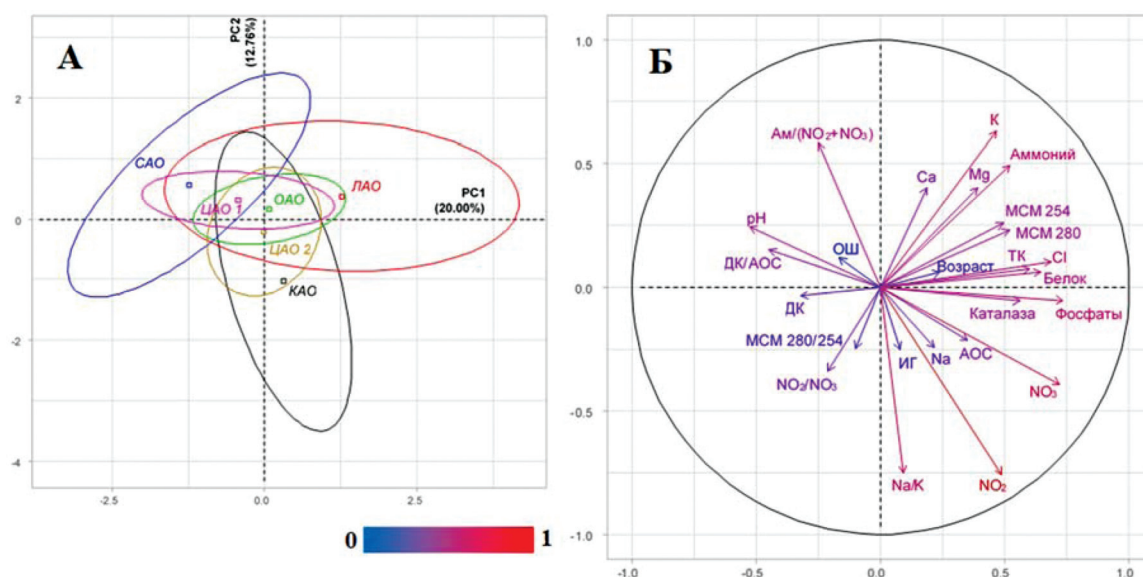


Рис. 1. Факторная плоскость (А) и корреляционный круг (Б) для сравнения всех районов проживания по биохимическому составу слюны

с использованием пакета R. Результаты анализа представлены в виде факторных плоскостей и соответствующих корреляционных кругов. В каждом случае на рисунках приведены только первые два главных компонента (PC1 и PC2). Цвет стрелок на корреляционном круге варьирует от синего (слабая корреляция) до красного (сильная корреляция), как показано на цветовой шкале. Ориентация стрелок характеризует положительные и отрицательные корреляции (для PC1 мы анализируем положение стрелок относительно вертикальной оси, для PC2 — относительно горизонтальной оси) [18].

Результаты

На начальном этапе проведено сравнение биохимического состава слюны в зависимости от пола и возраста добровольцев. Для этого исследуемая

группа была разбита на подгруппы в соответствии с возрастом: 15 лет (10 мальчиков, 10 девочек), 16 лет (12 мальчиков, 16 девочек) и 17 лет (17 мальчиков, 25 девочек). Статистически значимых отличий ни по одному из определяемых параметров не выявлено, поэтому в дальнейшем расчеты проведены без учета половозрастных особенностей.

Биохимический состав слюны подростков, проживающих в разных районах г. Омска, приведен в табл. 2. Показано, что значения биохимических параметров меняются разнонаправленно. Например, увеличение уровня ДК сопровождается уменьшением АОА (ЦАО2) и, наоборот, минимальный уровень ДК соответствует максимальной АОА (КАО). Статистически значимые отличия между районами выявлены для содержания натрия, хлоридов, нитритов, а также уровня ИГ (табл. 2).

Таблица 3

Значения коэффициентов корреляции главных компонент и параметров слюны

| Параметр | 6 районов | | CAO+КАО+ЛАО | | ОАО+ЦАО1+ЦАО2 | |
|--|-----------|--------|-------------|--------|---------------|-------|
| | PC1 | PC2 | PC1 | PC2 | PC1 | PC2 |
| Фосфаты, ммоль/л | 0,733 | — | 0,799 | — | 0,675 | — |
| Нитраты, мкмоль/л | 0,721 | −0,392 | 0,830 | — | 0,732 | — |
| Хлориды, ммоль/л | 0,686 | — | 0,716 | — | 0,664 | — |
| Белок, мг/л | 0,643 | — | 0,652 | — | 0,638 | — |
| Триеновые конъюгаты, у. е. | 0,598 | — | 0,637 | — | 0,585 | — |
| Каталаза, нкат/л | 0,559 | — | — | — | 0,607 | — |
| Аммоний, ммоль/л | 0,520 | 0,492 | — | 0,639 | 0,643 | — |
| МСМ 280, у. е. | 0,518 | — | — | — | 0,508 | — |
| МСМ 254, у. е. | 0,493 | — | — | — | 0,501 | — |
| Нитриты, мкмоль/л | 0,488 | −0,759 | 0,620 | −0,686 | — | 0,672 |
| Калий, ммоль/л | 0,461 | 0,631 | — | 0,6540 | 0,554 | — |
| pH | −0,526 | — | −0,702 | — | −0,456 | — |
| Na/K, у.е. | — | −0,750 | — | −0,842 | — | 0,934 |
| Натрий, ммоль/л | — | — | — | — | — | 0,814 |
| NO ₂ /NO ₃ , у. е. | — | — | — | — | — | 0,797 |

Примечание. PC1 и PC2 — первая и вторая главные компоненты; сильными считали корреляции с $r > 0,700$; корреляции средней силы соответствуют $0,300 < r < 0,699$; слабые корреляции при $r < 0,299$ ($p < 0,05$).

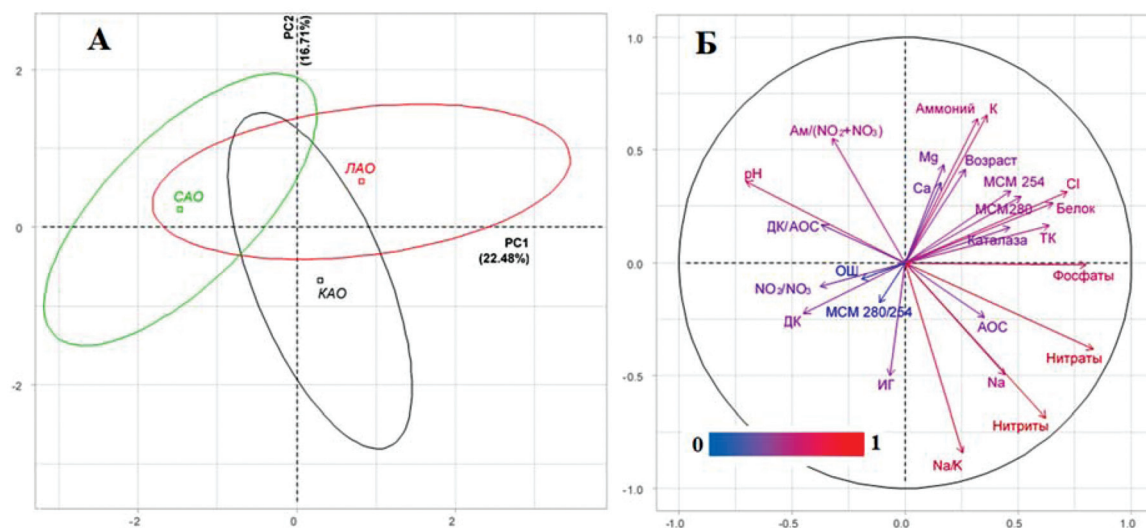


Рис. 2. Факторная плоскость (А) и корреляционный круг (Б) для сравнения КАО, САО и ЛАО районов проживания по биохимическому составу слюны

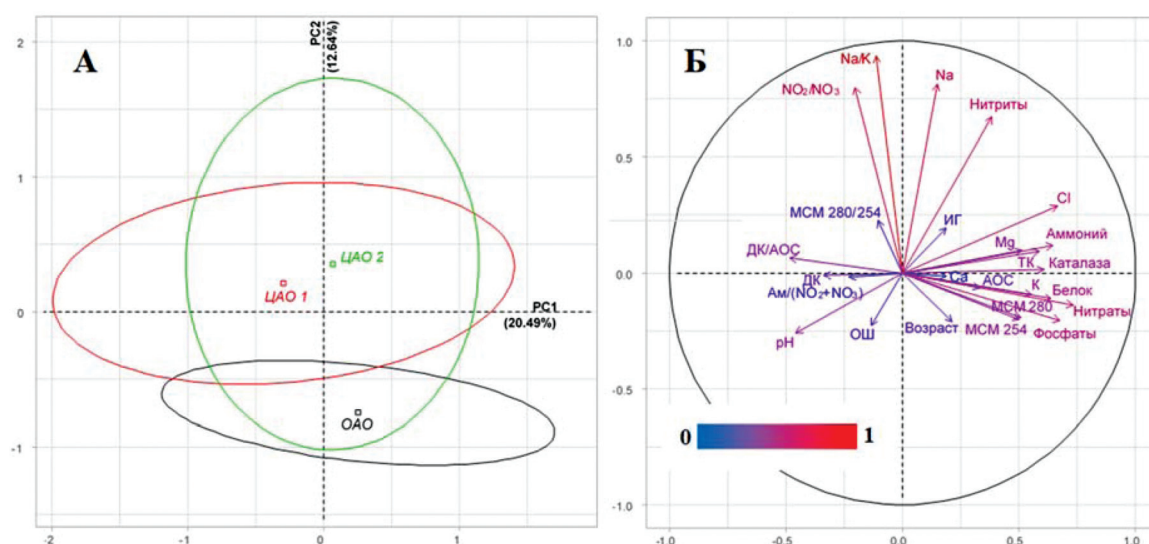


Рис. 3. Факторная плоскость (А) и корреляционный круг (Б) для сравнения ЦАО1, ЦАО2 и ОАО районов проживания по биохимическому составу слюны

Как видно из данных табл. 2, четкой закономерности в изменении параметров не прослеживается, поэтому данные были обработаны методом РСА, чтобы понять, существуют ли различия между составом слюны в зависимости от района проживания и какие параметры вносят наибольший вклад в разделение. При сравнении всех шести районов было показано, что однозначного разделения не происходит (рис. 1а).

Первая главная компонента (PC1) разделяет между собой ЛАО и КАО (правее вертикальной оси) от САО и ЦАО1 (левее оси). Горизонтальная ось (PC2) отделяет САО, ЦАО1, ОАО и ЛАО от ЦАО2 и КАО (см. рис. 1а). Вклад каждого биохимического параметра показан на корреляционном круге (рис. 1б). Видно, что практически все исследуемые параметры значимы для разделения групп. Однако максимальный вклад вносят электролитные компоненты, белок и ТК (табл. 3).

На факторной плоскости (см. рис. 1а) максимально

удалены друг от друга три района (КАО, САО и ЛАО), поэтому на следующем этапе мы провели сравнение этих районов между собой (рис. 2). Вертикальная ось (PC1) отделяет ЛАО и КАО от САО, Горизонтальная ось (PC2) отделяет САО и ЛАО от КАО (рис. 2а).

Дополнительно мы сравнили районы, которые практически не отличались друг от друга (рис. 3). В данном случае можно отделить районы ЦАО1 и ЦАО2 от ОАО, однако различия между ЦАО1 и ЦАО2 минимальны (рис. 3а).

Все точки, соответствующие разным районам проживания участников эксперимента, были нанесены на карту г. Омска (рис. 4а). Согласно полученным данным, районы проживания подростков, у которых выявлены значимые отличия по исследуемым биохимическим параметрам слюны, закономерно максимально удалены друг от друга (КАО, ЛАО и САО). Выявленные различия, вероятно, могут быть

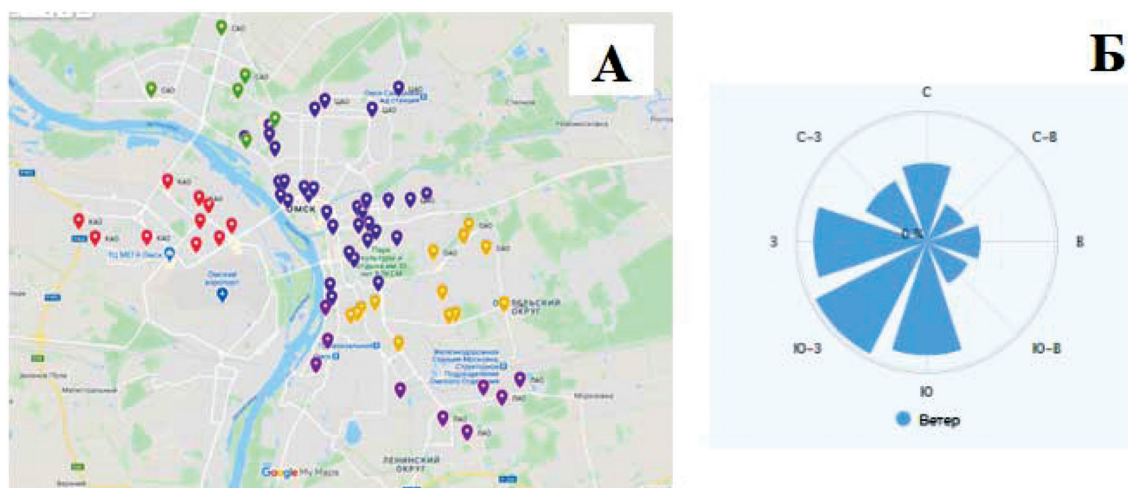


Рис. 4. Координаты точек в соответствии с районами проживания на карте г. Омска (А), роза ветров (Б). Районы обозначены цветом: КАО — красный, САО — зеленый, ЛАО — фиолетовый, ОАО — желтый, ЦАО — синий.

связаны с преимущественным направлением ветра в регионе (рис. 4б).

Обсуждение результатов

Известно, что под воздействием неблагоприятных факторов окружающей среды в организме человека происходит активация ПОЛ, что приводит к истощению общих возможностей собственной АОС [10]. При окислительном стрессе происходит накопление поврежденных оснований ДНК, продуктов окисления белков и перекисидации липидов [17], что приводит к снижению уровня антиоксидантов и повышению восприимчивости липидов мембран и липопротеинов к действию прооксидантов. Оценку ПОЛ производят по обнаружению продуктов ПОЛ. Диеновые конъюгаты являются первичными продуктами, ТК — вторичными и ОШ — конечными метаболитами. Диеновые конъюгаты отражают раннюю стадию окисления, впоследствии переходят в более токсичные ТК и ОШ. Ранее нами показано, что высокое содержание ДК является благоприятным фактором, поскольку не происходит дальнейшего превращения в токсичные ТК и ОШ [15]. В соответствии с этим группы подростков, проживающих в ЦАО1, ЦАО2 и ЛАО, имеют повышенное содержание ДК, что может рассматриваться как благоприятный фактор. Тогда как в КАО и САО уровень ДК ниже, при этом содержание ТК соответственно возрастает в КАО и САО, оставаясь невысоким в ЦАО1, ЦАО2 и ЛАО.

С другой стороны, АОС является одной из важнейших защитных систем организма, оперативно реагирующих на любые изменения внешней среды. Известно, что баланс состояния ПОЛ и АОС отражает состояние организма, а его смещение может привести к возникновению и развитию патологических процессов. Антиоксидантная система связывает свободные радикалы, одновременно запуская естественную систему защиты организма [14]. К факторам инициации свободно-радикального окисления можно отнести подавление активности ферментного звена АОС (которое отображается активностью каталазы),

перерасход антиоксидантов вследствие активации ПОЛ, нарушение целостности мембран и клеток, что приводит к повышению уровня МСМ и является универсальным метаболическим ответом организма на воздействие агрессивной окружающей среды. Поэтому увеличение показателя АОС указывает на избыточный расход антиоксидантов организма вследствие активации системы ПОЛ. Показано, что максимальные значения АОС наблюдаются в КАО и САО, а минимальные — в ЦАО1, ЦАО2 и ЛАО, что согласуется с данными о ПОЛ в указанных районах.

Дисбаланс микроэлементов, вызванный неблагоприятными условиями проживания, непосредственно сказывается на деятельности организма, снижает его сопротивляемость и способствует ухудшению здоровья как на индивидуальном уровне, так и на популяционном. Известно, что определение концентрации неорганических ионов является важным с медицинской точки зрения [23]. Так, обмен натрия и калия играет существенную роль в таких жизненно важных процессах, как сердечная деятельность, кислотно-основное равновесие, регуляция внутриклеточного гомеостаза. Ионы хлоридов, фосфат и нитрат ионы поступают в организм преимущественно с питьевой водой, состав которой оказывает значительное влияние на формирование здоровья населения. Опасность представляют нитрат ионы, которые оказывают влияние на ферментные системы, окислительно-восстановительные реакции, обменные процессы. Хлорид ионы обладают выраженной биологической активностью, переходя в галогенсодержащие соединения, имеющие мутагенный эффект [11]. Установлено, что низкие значения микроэлементов и белка наблюдаются в САО и КАО, что может быть связано с нарушением гематосаливарного барьера. Крайне важно определение концентрации калия и натрия в слюне как индикаторов выброса адаптивных гормонов коры надпочечников под влиянием различных эндогенных и экзогенных факторов. Установлена связь уровня натрия и калия в слюне с содержанием глюкозы и кортизола, поскольку от содержания электролитов

зависит транспорт глюкозы в клетку, а эффективность работы натрий-калиевого насоса зависит от адекватного поступления глюкокортикоидов. Поэтому низкое содержание данных элементов в слюне негативно сказывается на состоянии организма.

Иммунологический статус и состояние неспецифических факторов защиты организма во многом определяют его чувствительность к воздействию окружающей среды. Иммунный статус человека является важным показателем общего функционального состояния организма. Содержание ИГ отражает формирование иммунного ответа организма в условиях возмущающих воздействий окружающей среды [4]. Максимальные значения ИГ выявлены в КАО и САО, тогда как в ЦАО1, ЦАО2 и ЛАО содержание ИГ ниже, что указывает на различные степени напряжения иммунологической реактивности организма в зависимости от района проживания.

Комбинация всех параметров позволяет сформулировать гипотезу, что состояние влияния окружающей среды на организм у проживающих в КАО и САО может рассматриваться как менее благоприятное, чем у проживающих в ЦАО1, ЦАО2 и ЛАО. Данные различия в большей степени могут быть связаны с загрязнением атмосферного воздуха. Наличие мощного промышленного потенциала определяет Омск как крупный центр топливной, химической, нефтехимической и пищевой промышленности. На территории Омска и Омской области зарегистрировано 4 388 объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, неравномерно распределенное по округам города. На протяжении ряда лет качество воды оставалось в основном в пределах 3–4-го классов, вода изменялась от «загрязненной» до «грязной». Основной вклад в структуру выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух принадлежит выбросам от деятельности предприятий теплоэнергетики, промышленности, объектов производства и распределения газа и воды, автомобильного транспорта [5].

Крупные промышленные комплексы расположены на севере, северо-востоке (САО) и западе (КАО) города. Рассмотрено влияние розы ветров, согласно которой воздушный поток в регионе имеет преимущественно юго-западное направление, потому выбросы этих предприятий оказывают слабое воздействие на экологическую обстановку районов, расположенных на юге и востоке (ЦАО1, ЦАО2, ОАО, ЛАО), загрязнение которых в большей степени обусловлено выбросами от автомобильного транспорта. Именно для этих районов нами получены максимально близкие значения биохимических параметров слюны. Согласно заявленной гипотезе закономерно рассмотреть районы, наиболее удаленные друг от друга, в которых влияние направления ветра минимально сказывается на полученных результатах. На диаграмме (см. рис. 2) показаны КАО, САО и ЛАО, в которых комбинация рассмотренных параметров максимально отличается. Таким образом, в КАО и САО уровень ДК ниже, а АОС и ИГ имеют повышенные значения, в ЛАО, напро-

тив, уровень ДК выше, а АОС и ИГ ниже. Согласно данным об экологическом мониторинге больше всего обращений на загрязнение атмосферного воздуха поступило из САО (35 %) и КАО (33 %) г. Омска, что согласуется с полученными данными. Мы провели предварительное исследование, которое показало принципиальную возможность применения слюны для мониторинга состояния организма.

К ограничениям исследования можно отнести небольшое количество участников эксперимента. В дальнейшем планируется расширение параметров. Также необходимо учитывать комплексное влияние всех промышленных производств и расширить географию исследования, включив другие районы города и области.

Заключение

На примере подростков показано, что район проживания оказывает существенное влияние на показатели слюны. Однако в самостоятельном варианте ни один из определяемых параметров слюны не может быть использован для характеристики района проживания. Выявлена комбинация показателей слюны, которая позволяет в интегральной форме характеризовать состояние организма. Полученные данные соответствуют результатам экологического мониторинга в соответствующих районах.

Список литературы / References

1. Бельская Л. В. Применение капиллярного электрофореза для определения минерального состава слюны человека // Бюллетень науки и практики. 2017. № 2. С. 132–140.
Bel'skaya L. V. The use of capillary electrophoresis for determining the mineral composition of human saliva. *Byulleten' nauki i praktiki* [Bulletin of Science and Practice]. 2017, 2, pp. 132–40. [In Russian]
2. Бельская Л. В., Сарф Е. А., Косенок В. К. Биохимия слюны: методы исследования. Омск, 2015. 70 с.
Belskaya L. V., Sarf E. A., Kosenok V. K. *Biokhimiya slyuny: metody issledovaniya* [Biochemistry of saliva: research methods]. Omsk, 2015, 70 p.
3. Гаврилов В. Б., Бидула М. М., Фурманчук Д. А., Конев С. В., Алейникова О. В. Оценка интоксикации организма по нарушению баланса между накоплением и связыванием токсинов в плазме // Клиническая лабораторная диагностика. 1999. № 2. С. 13–17.
Gavrilov V. B., Bidula M. M., Furmanchuk D. A., Konev S. V., Aleynikova O. V. Assessment of intoxication of the body by imbalance between the accumulation and binding of toxins in the plasma. *Klinicheskaya Laboratornaya Diagnostika*. 1999, 2, pp. 13–17. [In Russian]
4. Гегерь Э. В., Золотникова Г. П. Оценка экологических рисков здоровью населения в районах, ранжированных по степени техногенного загрязнения // Экология человека. 2018. № 4. С. 10–15.
Geger' E. V., Zolotnikova G. P. Assessment of ecological risks to public health in areas ranked by the degree of technogenic pollution. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2018, 4, pp. 10–15. [In Russian]
5. Доклад об экологической ситуации в Омской области за 2019 г. / Министерство природных ресурсов и экологии Омской области. Омск, 2020. 302 с.

Report on the environmental situation in the Omsk region for 2019. Omsk, 2020, 302 p. [In Russian]

6. Колесов С. А., Кортаташвили Л. В. Протеом слюны и его диагностические возможности // Клиническая лабораторная диагностика. 2015. № 5. С. 54–58.

Kolesov S. A., Kortotashvili L. V. Saliva proteome and its diagnostic capabilities. *Klinicheskaya Laboratornaya Diagnostika*. 2015, 5, pp. 54–58. [In Russian]

7. Королюк М. А., Иванова Л. И., Майорова И. Г., Токарев В. Е. Метод определения активности каталазы // Лабораторное дело. 1988. № 1. С. 16–19.

Korolyuk M. A., Ivanova L. I., Mayorova I. G., Tokarev V. E. Method for determining the activity of catalase. *Laboratornoye delo*. 1988, 1, pp. 16–19. [In Russian]

8. Несмеянова Н. Н., Соседова Л. М. Состояние микроэкологии слизистых верхних дыхательных путей у подростков, проживающих в городах с химической промышленностью // Экология человека. 2015. № 4. С. 32–38.

Nesmeyanova N. N., Sosedova L. M. The state of microecology of the mucous membranes of the upper respiratory tract in adolescents living in cities with a chemical industry. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2015, 4, pp. 32–38. [In Russian]

9. Рембовский В. Р., Могилenkova Л. А., Радилов А. С., Савельева Е. И., Комбарова М. Ю. Перспективы биомониторинга для оценки здоровья при работах с опасными химическими веществами // Медицина экстремальных ситуаций. 2018. Т. 20, № 3. С. 398–407.

Rembovsky V. R., Mogilenkova L. A., Radilov A. S., Savelyeva E. I., Kombarova M. Yu. Prospects of biomonitoring for assessing health when working with hazardous chemicals. *Meditina ekstremal'nykh situatsiy [Extreme Medicine]*. 2018, 20 (3), pp. 398–407. [In Russian]

10. Семенова Н. В., Мадаева И. М., Даренская М. А., Колесникова Л. И. Процессы липопероксидации и система антиоксидантной защиты у женщин в менопаузе в зависимости от этнической принадлежности // Экология человека. 2019. № 6. С. 30–38.

Semenova N. V., Madaeva I. M., Darenskaya M. A., Kolesnikova L. I. Lipid peroxidation processes and the antioxidant defense system in menopausal women depending on ethnicity. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2019, 6, pp. 30–38. [In Russian]

11. Соколов А. В., Костина Д. А., Мариничев С. С., Чаплыгин С. С., Колсанов А. В. Значимость определения нитритов в ротовой жидкости у здоровых людей // Клиническая лабораторная диагностика. 2018. Т. 63, № 4. С. 215–219.

Sokolov A. V., Kostina D. A., Marinichev S. S., Chaplygin S. S., Kolsanov A. V. Significance of determining nitrites in the oral fluid in healthy people. *Klinicheskaya Laboratornaya Diagnostika*. 2018, 63 (4), pp. 215–219. [In Russian]

12. Трофимчук А. А., Кабиров М. Ф., Гуляева О. А., Ларионова Т. К., Каримова Л. К., Салыхова Г. А. Уровень эссенциальных и токсичных элементов в биосредах полости рта у работников горно-обогатительного комбината, занятых добычей и переработкой медно-цинковых руд // Проблемы стоматологии. 2018. Т. 14, № 1. С. 33–36.

Trofimchuk A. A., Kabirova M. F., Gulyaeva O. A., Larionova T. K., Karimova L. K., Salyakhova G. A. The level of essential and toxic elements in the biological media of the oral cavity in workers of a mining and processing plant engaged in the extraction and processing of copper-zinc ores. *Problemy stomatologii [Actual Problems in Dentistry]*. 2018, 14 (1), pp. 33–36. [In Russian]

13. Федотова Т. А., Кушнир С. М., Антонова Л. К., Усова Е. В. Микро- и макроэлементный состав слюны у часто болеющих детей, проживающих в различных экологически неблагоприятных условиях // Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2012. № 6. С. 74–77.

Fedotova T. A., Kushnir S. M., Antonova L. K., Usova E. V. Micro- and macroelement composition of saliva in frequently ill children living in various ecologically unfavorable conditions. *Rossiyskiy Vestnik Perinatologii i Pediatrii [Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics]*. 2012, 6, pp. 74–77. [In Russian]

14. Ямбулатов А. М., Устинова О. Ю. Нарушение баланса витаминов у детей дошкольного возраста в условиях комплексного воздействия техногенных химических факторов // Здоровье населения и среда обитания. 2018. № 7 (304). С. 12–18.

Yambulatoev A. M., Ustinova O. Yu. Violation of the balance of vitamins in preschool children under the conditions of the complex impact of technogenic chemical factors. *Zdorov'ye naseleniya i sreda obitaniya [Public health and the environment]*. 2018, 7 (304), pp. 12–18. [In Russian]

15. Bel'skaya L. V., Kosenok V. K., Massard G. Endogenous Intoxication and Saliva Lipid Peroxidation in Patients with Lung Cancer. *Diagnostics*. 2016, 6 (4), pp. 39.

16. Bel'skaya L. V., Kosenok V. K., Sarf E. A. Chronophysiological features of the normal mineral composition of human saliva. *Archives of Oral Biology*. 2017, 82, pp. 286–292.

17. Gegotek A., Niklinski J., Zarkovie N., Zarkovie K., Waeg G., Luczaj W., Charkiewicz R., Skrzydlewska E. Lipid mediators involved in the oxidative stress and antioxidant defense of human lung cancer cells. *Redox Biology*. 2016, 9, pp. 210–219.

18. Lê S., Josse J., Husson F. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*. 2008, 25 (1), pp. 1–18.

19. Miller C. S., Foley J. D., Bailey A. L., Campell C. L., Humphries R. L., Christodoulides N., Floriano P. N. Current developments in salivary diagnostics. *Biomark. Med.* 2010, 4 (1), pp. 171–89.

20. Morry J., Ngamcherdtrakul W., Yantasee W. Oxidative stress in cancer and fibrosis: Opportunity for therapeutic intervention with antioxidant compounds, enzymes and nanoparticles. *Redox Biology*. 2017, 11, pp. 240–253.

21. Nunes L. A., Mussavira S., Bindhu O. S. Clinical and diagnostic utility of saliva as a non-invasive diagnostic fluid: a systematic review. *Biochemia Medica*. 2015, 25 (2), pp. 177–92.

22. Roblegg E., Coughran A., Sirjani D. Saliva: An all-rounder of our body. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 2019, 142, pp. 133–141.

23. Rodrigues V. P., Franco M. M., Marques C. P., de Carvalho R. C., Leite S. A., Pereira A. L., Benatti B. B. Salivary levels of calcium, phosphorus, potassium, albumin and correlation with serum biomarkers in hemodialysis patients. *Archives of Oral Biology*. 2016, 62, pp. 58–63.

Контактная информация:

Бельская Людмила Владимировна — кандидат химических наук, заведующая научно-исследовательской лаборатории биохимии ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет»

Адрес: 644043, г. Омск, ул. Набережная Тухачевского, д. 14

E-mail: LudaB2005@mail.ru