

БИОМОНИТОРИНГ: КАК АНАЛИЗ ВОЛОС И КРОВИ ВЫЯВЛЯЕТ УРОВЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОРГАНИЗМА

Аракелян П.А. Лаптева А.С.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Воробей А.В. – магистр техн. наук, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Биомониторинг является важным методом оценки уровня загрязнения организма токсичными веществами, поступающими из окружающей среды. Обзорная статья рассматривает ключевые биологические материалы для анализа – волосы, ногти и кровь – и их роль в выявлении воздействия тяжелых металлов, пестицидов и других вредных соединений. Описаны основные принципы работы методов анализа, их преимущества и ограничения, а также их применение в экологических исследованиях и медицине. Особое внимание уделяется использованию биомониторинга для оценки воздействия антропогенных факторов, включая промышленные выбросы, загрязненную воду и продукты питания. В заключении обсуждаются перспективы развития методов биомониторинга и их значение для охраны здоровья населения в условиях ухудшающейся экологической обстановки.

Ключевые слова. биомониторинг, анализ волос, анализ ногтей, анализ крови, тяжелые металлы, экологическое загрязнение, токсикология, антропогенные факторы

Введение. Современный мир сталкивается с растущей проблемой загрязнения окружающей среды, что оказывает серьезное влияние на здоровье населения. Вредные вещества, такие как тяжелые металлы, пестициды, промышленные выбросы и токсичные соединения, поступают в организм через воздух, воду, пищу и бытовые предметы. Оценка степени этого воздействия крайне важна для мониторинга состояния здоровья людей, особенно проживающих в промышленных районах.

Биомониторинг – это метод, позволяющий выявлять накопление загрязняющих веществ в организме. Анализ различных биологических субстратов, таких как волосы, ногти и кровь, дает возможность оценить уровень химического загрязнения и его влияние на здоровье человека. Данный метод широко применяется в медицине, экологии и токсикологии, а его результаты позволяют выявлять группы риска, разрабатывать меры профилактики и корректировать экологическую политику.

Основная часть. В биомониторинге используются различные биологические субстраты, в которых аккумулируются вредные вещества. Основными являются:

1 Кровь – отражает текущее содержание токсикантов и показывает недавнее воздействие загрязняющих веществ.

2 Моча – указывает на уровень выведения токсинов из организма и помогает определить степень интоксикации.

3 Волосы – фиксируют долговременное накопление вредных элементов, таких как свинец, ртуть и мышьяк.

4 Ногти – аналогично волосам, накапливают токсичные соединения и микроэлементы, являясь индикатором длительного воздействия.

5 Зубы и костная ткань – могут сохранять следы токсичных веществ на протяжении нескольких лет.

Далее будет приведена таблица 1, описывающая информативность диагностических биосубстратов для оценки воздействия химических элементов.

Таблица 1 – Информативность диагностических биосубстратов для оценки воздействия химических элементов

Элемент	Кровь	Моча	Волосы	Ногти	Зубы
Pb	++	+	++	+	++
Hg	+	++	+	+	–
Cd	*+	++	+	+	+?
Ns	*+	+	++	+	–
F	–	++	++	+	++
Cr	+	+	+	+	+
Ni	*+	+?	*+	–	–
Co	+	–	*+	+	–
Mn	+	+?	+	–	–
Zn	–	+	*+	+	+
Sb	–	–	+	–	–
Se	–	+	+	+	–
Cu	*+	+	*+	*+	+
Br	–	–	+	–	–

Примечание. ++ повышение содержания элемента в данном субстрате проявляется раньше, чем в других, и корреляционные связи с концентрацией в производственной или окружающей среде достоверны; + то же, но указанные корреляционные связи выражены слабее; *+ то же, но проявляется только при высоких уровнях воздействия; +? данные противоречивы; – данных нет.

Каждый из этих биосубстратов обладает своими преимуществами и ограничениями, которые необходимо учитывать при проведении анализа.

Химические элементы поступают в организм из различных источников: атмосферный воздух, вода, продукты питания, производственные помещения.

Анализ крови является одним из основных методов биомониторинга, который широко используется для оценки воздействия загрязняющих веществ на организм человека. Кровь представляет собой уникальный биосубстрат, отражающий текущее состояние организма, так как она циркулирует по всему телу, транспортируя токсины и питательные вещества.

Кровь выполняет роль транспортной системы в организме, обеспечивая обмен веществ между различными органами и тканями. Загрязняющие вещества, попадая в кровь, могут иметь различные пути воздействия на организм. Они могут быть токсичными, накапливаться в органах или выводиться через почки. Анализ крови позволяет выявить не только присутствие загрязняющих веществ, но и их концентрацию на момент забора. Нормы микроэлементов в крови человека взрослого мужчины представлены в таблице 2.

Таблицы 2 – Нормы микроэлементов в сыворотке крови у взрослых мужчин

Микроэлемент	Референсные значения	Единицы измерения	Альтернативные единицы (примерные)
Железо (Fe)	11.0 - 30.0	мкмоль/л	60 - 170 мкг/дл
Цинк (Zn)	10.0 - 18.0	мкмоль/л	65 - 120 мкг/дл
Медь (Cu)	11.0 - 22.0	мкмоль/л	70 - 140 мкг/дл
Селен (Se)	0.70 - 1.90	мкмоль/л	55 - 150 мкг/л
Марганец (Mn)	10 - 35	нмоль/л	< 2 мкг/л
Хром (Cr)	< 10	нмоль/л	< 0.5 мкг/л
Кобальт (Co)	< 17	нмоль/л	< 1.0 мкг/л

Железо: Уровень сывороточного железа подвержен суточным колебаниям (максимум утром) и зависит от насыщения трансферрина. Для полной оценки обмена железа часто дополнительно определяют ферритин, трансферрин и ОЖСС (общую железосвязывающую способность сыворотки).

Марганец: Концентрация марганца в цельной крови выше, чем в сыворотке, из-за его накопления в эритроцитах. Нормы для сыворотки очень низкие.

Хром, Кобальт: Эти элементы обычно определяют при подозрении на дефицит, интоксикацию или для мониторинга профессиональных вредностей.

Преимущества анализа крови: быстрое выявление токсичных веществ, индикатор общего состояния здоровья, широкий спектр применений, точность и чувствительность. Современные аналитические методы, такие как атомно-абсорбционная спектроскопия и масс-спектрометрия, обеспечивают высокую точность при определении концентрации химических элементов в крови.

Ограничения метода: не отражает длительное накопление токсичных веществ, некоторые загрязнители быстро выводятся из крови, что усложняет их обнаружение, забор крови требует стерильных условий и специального оборудования.

Анализ крови чаще всего применяется при подозрении на острое отравление или при проведении медицинских исследований для выявления воздействия загрязняющих веществ в короткий промежуток времени.

Волосы являются уникальным биосубстратом, который позволяет фиксировать воздействие загрязняющих веществ в течение длительного периода. Рост волос составляет примерно 1 см в месяц, что позволяет изучать динамику накопления токсинов.

Преимущества анализа волос: отражает длительное воздействие токсичных элементов, сбор материала прост, безболезнен и не требует сложного оборудования, позволяет оценивать хроническое загрязнение тяжелыми металлами.

Ограничения метода: возможность внешнего загрязнения волос (например, при использовании косметических средств), не всегда удается точно определить источник загрязнения (например, из воздуха или из пищи). Накопление (в мкг/г) химических элементов в волосах рабочих различных производств приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Накопление (в мкг/г) химических элементов в волосах рабочих различных производств

Элемент	Производство Cd на свинцово-кадмиевом комбинате	Выплавка меди	Рафинирование Cu методом электролиза	Производство фторированных солей	Производство минеральной краски
Sr	0,008±0,002	0,006±0,002	0,005±0	0,015±0,008	0,005±0,0008
Cr	0,72±0,34	0,42±0,042	0,50±0,081	1,46±0,27	6,54±1,41
Co	0,44±0,13	0,09±0,022		0,11±0,03	2,79±0,59
Cu	24,25±5,8	134±5,4	95,8±27,6	19,9±1,96	11,4±0,83
Zn	401±56	208,9±11,7	236,2±20,2	215±9,1	207,2±17,8
As	0,70±0,15	5,53±1,56	0,9±0,26	0,17±0,03	0,77±0,30
Se	0,59±0,09	0,68±0,076	1,25±0,26	0,71±0,19	7,44±1,01
Br	1,17±0,5	0,84±0,17	1,31±0,23	1±0,2	0,68±0,13
Rb	1,61±0,25	1,22±1,04	2,31±0,65	–	4,03±0,55
Ag	0,80±0,39	0,40±0,1	0,63±0,20	0,27±0,2	0,33±0,04
Cd	92±17,2	0,98±0,12	0,30±0,03	0,48±0,07	25,1±6,7
Sb	1,4±0,42	0,35±0,07	0,14±0,02	0,65±0,1	4,65±1,89
Te	6,06±1,23	1,70±0,25	0,98±0,21	–	2,45±0,41
La	–	0,038±0,005	0,042±0,007	0,53±0,2	0,04±0,006
Ce	0,045±0,027	0,076±0,040	0,073±0,010	0,63±0,2	0,26±0,04
Sm	0,017±0,005	0,012±0,002	0,005±0,001	0,13±0,08	0,005±0,003
Eu	3,38±0,43	–	–	0,05±0,01	0,033±0,0008
Hg	56,0±7,8	1,21±0,34	0,61±0,075	0,34±0,016	1,64±0,14
Pb		8,41±1,56	7±0,9	1,55±0,33	102,8±21,7

Волосы особенно чувствительны к воздействию свинца, ртути, мышьяка и фтора, что делает их важным индикатором при проведении экологических исследований.

Методы биомониторинга активно используются в:

– экологических исследованиях – для оценки загрязнения окружающей среды и выявления групп населения, подверженных воздействию токсичных веществ;

– медицине – для диагностики хронических интоксикаций, изучения влияния токсинов на здоровье человека;

– эпидемиологии – для массовых исследований влияния загрязняющих веществ на популяции.

В современных условиях развитие методов биомониторинга становится все более актуальным. Создаются новые технологии анализа биосубстратов, позволяющие с высокой точностью выявлять даже минимальные концентрации токсичных элементов.

Разработка систем биомониторинга включает:

– определение рекомендуемых индикаторных биосубстратов;

– разработку стандартов отбора и подготовки образцов;

– внедрение высокоточных аналитических методов, таких как масс-спектрометрия;

– определение допустимых и критических уровней загрязняющих веществ в организме.

Заключение. Биомониторинг является важнейшим инструментом оценки воздействия загрязняющих веществ на организм человека. Анализ крови, волос и ногтей позволяет выявлять как острое, так и хроническое накопление токсинов, что делает этот метод незаменимым в экологии, медицине и токсикологии. Развитие технологий биомониторинга позволит в будущем проводить еще более точные исследования и принимать эффективные меры по защите здоровья населения в условиях ухудшающейся экологической обстановки.

Список литературы

1. Аксенова, Г. Б. Биомониторинг токсикантов в организме человека: современные методы и перспективы / Г. Б. Аксенова, Ю. Г. Скрипкин // *Гигиена и санитария*. – 2018. – № 5. – С. 45–52.
2. Барановская, Н. В. Анализ биологических субстратов для оценки воздействия тяжёлых металлов на организм человека / Н. В. Барановская, О. В. Рябова, С. С. Коротков // *Экология человека*. – 2019. – № 3. – С. 28–34.
3. Брусенцова, Т. Г. Методы биомониторинга воздействия загрязняющих веществ на организм человека / Т. Г. Брусенцова, А. Н. Кашианов // *Токсикологический вестник*. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 21–29.
4. Герасимова, Е. А. Роль анализа волос и ногтей в оценке накопления токсичных элементов в организме / Е. А. Герасимова, Л. М. Петрова // *Аналитика и контроль*. – 2021. – Т. 25, № 2. – С. 67–74.

UDC 93.8180.6

BIOMONITORING: HOW HAIR, NAIL, AND BLOOD ANALYSIS REVEALS THE LEVEL OF BODY CONTAMINATION

Arakelian P. A. Lapteva A. S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vorobey A.V. – Master of Sci., assistant of the Department of EPE

Annotation. Biomonitoring is a crucial method for assessing the level of contamination in the human body by toxic substances from the environment. This review article examines key biological materials used for analysis—hair, nails, and blood—and their role in detecting exposure to heavy metals, pesticides, and other harmful compounds. The fundamental principles of these analytical methods, their advantages and limitations, as well as their applications in ecological research and medicine, are described. Special attention is given to the use of biomonitoring in assessing the impact of anthropogenic factors, including industrial emissions, contaminated water, and food products. The article concludes with a discussion on the future development of biomonitoring methods and their significance for public health protection in the context of worsening environmental conditions.

Keywords. Biomonitoring, hair analysis, nail analysis, blood analysis, heavy metals, environmental contamination, toxicology, anthropogenic factors