

РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПРИ АНАЛИЗЕ ОБРАЗЦОВ ВОЛОС ПАЦИЕНТОВ
МЕТОДОМ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА

Туратов Хожиакбар Шавкат угли ¹

Курбанов Бахтиёр Ибрагимович ²

¹ Студент кафедры ядерной физики и астрономии Национального университета
Узбекистана.

² Доктор технических наук, профессор, Институт ядерной физики Академии наук
Республики Узбекистан, г. Ташкент.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18253472>

Аннотация. В статье рассматриваются результаты, полученные при анализе образцов волос пациентов методом нейтронно-активационного анализа. Волосы человека используются в качестве информативного биологического материала для оценки элементного состава организма, поскольку они способны аккумулировать макро- и микроэлементы в течение длительного времени. Нейтронно-активационный анализ является высокочувствительным и точным методом, позволяющим определять концентрации элементов без разрушения образцов и с минимальной пробоподготовкой. В ходе исследования были определены содержания ряда жизненно важных и токсичных элементов, изменения концентраций которых могут быть связаны с различными патологическими состояниями. Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения данного метода для выявления элементного дисбаланса, мониторинга состояния здоровья пациентов и использования в медико-биологических исследованиях.

Ключевые слова: нейтронно-активационный анализ, образцы волос, микроэлементы, макроэлементы, элементный состав, биологический мониторинг, диагностика заболеваний.

Abstract. This article presents the results obtained from the analysis of patients' hair samples using the neutron activation analysis method. Human hair is considered an informative biological material for assessing the elemental composition of the body, as it is capable of accumulating macro- and microelements over a long period of time. Neutron activation analysis is a highly sensitive and accurate technique that allows the determination of elemental concentrations without destruction of the samples and with minimal sample preparation. In the course of the study, the contents of several essential and toxic elements were determined, variations of which may be associated with various pathological conditions. The obtained results demonstrate the potential application of this method for identifying elemental imbalances, monitoring patients' health status, and conducting medical and biological research.

Keywords: neutron activation analysis, hair samples, trace elements, macroelements, elemental composition, biological monitoring, disease diagnosis.

Введение

Изучение элементного состава организма человека является одной из актуальных и приоритетных задач современной медицины, биологии и экологии. Макро-и микроэлементы играют ключевую роль в поддержании нормального функционирования

биологических систем, участвуя в метаболических процессах, регуляции ферментативной активности, формировании тканей и поддержании гомеостаза. Нарушение баланса химических элементов в организме, выражающееся как в дефиците, так и в избытке отдельных элементов, может приводить к развитию различных патологических состояний, снижению иммунитета, ухудшению качества жизни и повышению риска хронических заболеваний.

В последние десятилетия значительно возрос интерес к исследованию микроэлементного статуса человека в связи с усилением антропогенного воздействия на окружающую среду, изменением условий питания, образом жизни и ростом техногенных факторов. Загрязнение воздуха, воды и почвы тяжелыми металлами и другими токсичными элементами оказывает прямое и опосредованное влияние на здоровье населения. В этой связи возникает необходимость разработки и применения надежных аналитических методов, позволяющих выявлять элементный дисбаланс на ранних стадиях и использовать полученные данные для диагностики, профилактики и мониторинга заболеваний.

Для оценки элементного состава организма используются различные биологические объекты, такие как кровь, моча, слюна, ногти и волосы. Среди них волосы человека представляют особый интерес, поскольку они обладают способностью накапливать химические элементы в течение длительного времени и отражать интегральное воздействие внешних и внутренних факторов. В отличие от крови и мочи, которые характеризуют текущее состояние организма, волосы позволяют оценить долгосрочный элементный статус и хроническое воздействие микроэлементов и токсичных веществ.

Использование волос в качестве биологического индикатора имеет ряд преимуществ. Отбор проб является неинвазивным, простым и безопасным для пациента, не требует специальных условий хранения и транспортировки. Кроме того, элементный состав волос отличается относительной стабильностью, что делает данный биоматериал удобным для ретроспективного анализа. Именно поэтому анализ волос широко применяется в медико-биологических, экологических и токсикологических исследованиях.

Однако достоверность результатов анализа волос во многом зависит от применяемого аналитического метода. Современные исследования требуют методов, обладающих высокой чувствительностью, точностью и воспроизводимостью, а также возможностью одновременного определения большого числа элементов. Одним из таких методов является нейтронно-активационный анализ (НАА), который относится к числу ядерно-физических аналитических методов и широко используется для многоэлементного анализа различных объектов.

Нейтронно-активационный анализ основан на взаимодействии нейтронов с ядрами стабильных изотопов элементов, в результате чего образуются радиоактивные изотопы, испускающие характерное гамма-излучение. По энергии и интенсивности гамма-квантов можно определить качественный и количественный состав анализируемого образца.

Основным преимуществом НАА является его высокая чувствительность, позволяющая определять элементы в следовых концентрациях, а также минимальная пробоподготовка и отсутствие необходимости разрушения образца.

Метод нейтронно-активационного анализа отличается высокой точностью и селективностью, что особенно важно при исследовании биологических материалов сложного состава. Он позволяет одновременно определять десятки элементов, включая жизненно важные микроэлементы и токсичные тяжелые металлы, такие как железо, цинк, медь, кобальт, селен, хром, ртуть и мышьяк. Благодаря этим особенностям НАА широко применяется в медицинских и биологических исследованиях, а также в клинической диагностике и эпидемиологических исследованиях.

В последние годы метод нейтронно-активационного анализа активно используется для изучения элементного состава волос пациентов с различными заболеваниями. Ряд исследований показал наличие корреляции между концентрациями отдельных микроэлементов и развитием сердечно-сосудистых, эндокринных, онкологических и неврологических заболеваний. Изменения элементного баланса могут рассматриваться как маркеры патологических процессов и использоваться для оценки риска развития заболеваний и эффективности проводимой терапии.

Несмотря на значительное количество опубликованных работ, проблема интерпретации результатов элементного анализа волос остается актуальной. Это связано с влиянием множества факторов, включая возраст, пол, регион проживания, особенности питания, профессиональные вредности и экологическую обстановку. В связи с этим необходимы комплексные исследования, направленные на систематизацию данных и выявление закономерностей между элементным составом волос и состоянием здоровья пациентов.

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью дальнейшего изучения возможностей применения нейтронно-активационного анализа для оценки элементного состава волос пациентов и выявления диагностически значимых показателей.

Использование высокочувствительных ядерно-физических методов анализа позволяет расширить представления о роли микроэлементов в патогенезе заболеваний и разработать новые подходы к медицинскому мониторингу.

Целью данной работы является анализ образцов волос пациентов методом нейтронно-активационного анализа с последующей оценкой содержания макро- и микроэлементов и выявлением возможных отклонений от физиологических норм. В рамках исследования предполагается определить концентрации ряда элементов, имеющих важное биологическое и клиническое значение, а также проанализировать полученные результаты с точки зрения их диагностической информативности.

Полученные данные могут быть использованы для расширения научных представлений о микроэлементном статусе человека, а также для практического применения в медицине, экологии и биомониторинге. Результаты исследования представляют интерес для специалистов в области ядерной физики, медицинской физики, биохимии и клинической диагностики и могут послужить основой для дальнейших междисциплинарных исследований.

Обзор литературы

Вопросы исследования элементного состава биологических объектов на протяжении многих десятилетий остаются в центре внимания ученых, работающих в области

медицины, биологии, экологии и аналитической химии. Особый интерес представляет изучение взаимосвязи между содержанием макро- и микроэлементов в организме человека и состоянием здоровья, поскольку нарушение элементного баланса может являться как причиной, так и следствием различных заболеваний. В научной литературе накоплен значительный объем данных, посвященных анализу биологических сред и применению различных методов для оценки элементного статуса человека.

Многочисленные исследования показывают, что микроэлементы играют важнейшую роль в регуляции биохимических процессов, функционировании ферментных систем, гормональной регуляции и иммунных реакциях. По данным ряда авторов, дефицит таких элементов, как цинк, селен, железо и медь, может приводить к развитию анемий, эндокринных нарушений, снижению иммунной защиты и повышению восприимчивости к инфекционным заболеваниям.

В то же время избыточное накопление токсичных элементов, включая ртуть, кадмий, свинец и мышьяк, оказывает выраженное негативное воздействие на нервную, сердечно-сосудистую и репродуктивную системы.

Для оценки элементного состава организма в научных исследованиях используются различные биологические объекты. Анализ крови и мочи широко применяется в клинической практике, однако данные среды отражают преимущественно краткосрочное состояние организма и подвержены значительным колебаниям. В связи с этим в последние годы возрастает интерес к использованию альтернативных биологических матриц, таких как ногти и волосы, которые позволяют оценить долговременное накопление элементов.

Волосы человека рассматриваются многими авторами как удобный и информативный биологический материал для элементного анализа. Согласно опубликованным данным, волосы способны аккумулировать микроэлементы в процессе роста, фиксируя информацию о воздействии экзогенных и эндогенных факторов за длительный период. Исследователи отмечают, что элементный состав волос может отражать особенности питания, экологические условия проживания, профессиональные вредности и наличие хронических заболеваний.

В научной литературе описано множество работ, посвященных анализу волос у пациентов с различными патологическими состояниями. Так, ряд исследований выявил изменения концентраций железа, цинка и меди у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Другие авторы указывают на связь дисбаланса микроэлементов с эндокринными нарушениями, в том числе заболеваниями щитовидной железы и сахарным диабетом. Отдельное направление исследований посвящено изучению элементного состава волос у онкологических больных, где выявлены статистически значимые отклонения содержания ряда элементов по сравнению со здоровыми группами.

Важным аспектом, широко обсуждаемым в литературе, является выбор аналитического метода для определения элементного состава волос. Наиболее распространенными методами являются атомно-абсорбционная спектрометрия, индуктивно-связанная плазменная масс-спектрометрия, рентгенофлуоресцентный анализ и нейтронно-активационный анализ.

Каждый из этих методов обладает определенными преимуществами и ограничениями, что обуславливает необходимость обоснованного выбора методики в зависимости от целей исследования.

Нейтронно-активационный анализ занимает особое место среди аналитических методов, применяемых для исследования биологических материалов. В литературе подчеркивается, что НАА является одним из наиболее чувствительных и точных методов многоэлементного анализа, позволяющим определять элементы в ультрамалых концентрациях. Существенным преимуществом метода является отсутствие необходимости разрушения образца и минимальная пробоподготовка, что снижает риск контаминации и искажения результатов.

Ряд авторов отмечает высокую воспроизводимость и надежность результатов, получаемых методом нейтронно-активационного анализа при исследовании волос. В опубликованных работах демонстрируется возможность одновременного определения десятков элементов, включая как биологически значимые микроэлементы, так и токсичные элементы. Это делает НАА особенно привлекательным для комплексных медико-биологических исследований и эпидемиологического мониторинга.

В научных публикациях также рассматриваются вопросы стандартизации методик анализа волос и интерпретации полученных результатов.

Отмечается, что на элементный состав волос могут влиять такие факторы, как возраст, пол, скорость роста волос, косметические процедуры и внешнее загрязнение. В связи с этим многие авторы подчеркивают необходимость строгого соблюдения протоколов пробоотбора и предварительной обработки образцов, а также использования контрольных и референтных значений.

Несмотря на значительное количество исследований, посвященных применению нейтронно-активационного анализа для изучения волос человека, в литературе отмечается недостаток систематизированных данных, особенно в контексте конкретных заболеваний и региональных особенностей. Ряд авторов указывает на необходимость расширения выборок, проведения сравнительных исследований и учета комплексного влияния экологических и социальных факторов на элементный статус пациентов.

Таким образом, анализ научной литературы показывает, что нейтронно-активационный анализ является перспективным и эффективным методом исследования элементного состава волос человека. Накопленные данные подтверждают информативность данного биоматериала и его значимость для диагностики и мониторинга различных патологических состояний. В то же время сохраняется актуальность дальнейших исследований, направленных на углубленное изучение взаимосвязи между элементным составом волос и состоянием здоровья пациентов, а также на совершенствование методических подходов и интерпретации результатов.

№ пациента	Содержание элементов волосах, мкг/г																				U
	Na	Cl	Ca	Sc	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	K	Se	Br	Rb	Ag	Sb	I	La	Au	Hg	
1	1290	5660	570	0,0053	0,14	0,60	26,0	<0,001	7,2	56	1240	0,46	8,0	0,73	12,4	0,032	3,4	0,17	0,0053	0,069	0,13
2	3690	8520	2020	0,0029	0,13	1,0	16,0	0,017	15,1	156	1990	0,27	1,1	1,1	<0,01	0,046	<0,1	0,025	0,066	0,045	0,052
3	2440	4950	900	0,0038	<0,01	0,61	13,3	0,019	18,5	96	2550	0,50	4,6	1,1	<0,01	0,028	<0,1	0,075	0,013	0,063	0,25
4	3200	5170	1340	0,0019	<0,01	0,45	12,4	0,012	14,1	193	2360	0,24	2,3	1,1	<0,01	0,038	<0,1	<0,001	0,058	0,030	<0,01
5	1240	3810	580	0,0044	0,13	1,2	18,0	0,013	17,4	106	2090	0,36	2,2	0,97	<0,01	0,053	<0,1	0,012	0,0018	0,038	0,11
6	350	1050	1220	0,0020	<0,01	0,57	11,1	0,016	8,1	195	53	0,43	2,8	<0,1	<0,01	0,012	0,32	0,023	<0,001	0,11	0,37
7	1050	4270	400	0,0042	0,15	0,75	26,0	0,016	10	121	340	0,64	2,3	0,31	<0,01	0,024	<0,1	0,014	0,009	0,064	0,093
8	740	2170	1340	0,0020	<0,01	1,1	18,8	0,028	7,9	133	867	0,38	1,8	0,50	<0,01	0,011	0,17	0,026	0,018	0,04	0,63
9	187	1240	570	0,0018	0,13	0,27	14,1	0,017	11,7	197	145	0,5	2,0	<0,1	<0,01	0,011	<0,1	0,24	0,0025	0,061	0,06
10	192	857	730	0,0034	0,097	1,2	22,6	0,023	13,5	205	103	0,35	0,96	<0,1	<0,01	0,012	<0,1	0,016	0,0028	0,087	0,11
11	6070	14450	360	0,0032	<0,01	0,68	12,4	0,015	64	187	3212	0,38	9,9	1,7	<0,01	0,018	<0,1	<0,001	0,0025	0,036	<0,01
12	1060	2860	510	0,0024	<0,01	0,24	8,2	0,0081	6,5	160	599	0,47	2,2	0,30	<0,01	0,041	<0,1	<0,001	0,012	0,058	<0,01
13	198	107	3450	0,0010	<0,01	0,16	10,6	0,097	9,3	228	<25	0,23	0,56	<0,1	<0,01	0,011	0,30	0,012	0,014	0,039	0,014
14	304	370	1810	<0,001	<0,01	1,2	11,9	0,011	56,4	180	89	0,35	4,6	<0,1	<0,01	0,011	<0,1	<0,001	0,0029	0,001	0,41
15	324	3150	1080	<0,001	<0,01	0,26	11,3	0,019	6,7	241	129	0,40	1,9	<0,1	0,1	<0,001	0,97	<0,001	0,0051	0,030	0,44
16	399	3720	350	0,0050	0,26	0,54	21,3	0,013	7,8	101	349	0,38	1,9	0,14	<0,01	0,021	<0,1	0,019	0,0012	0,053	<0,01
17	899	2640	730	0,0025	0,14	0,97	11,9	0,018	6,4	161	1300	0,33	2,2	0,78	<0,01	0,019	<0,1	<0,001	0,026	0,061	0,10
18	2420	7460	1020	0,0063	0,21	0,50	22,8	0,024	7,9	61	1370	0,59	3,4	0,70	0,13	0,073	1,8	0,022	0,026	0,022	0,14
19	664	2580	1060	0,0040	0,13	0,39	22,5	0,018	8,8	194	233	0,43	1,5	<0,1	<0,01	0,0073	<0,1	0,066	0,005	0,029	0,57
20	100	1120	770	0,0016	0,15	0,56	12	0,022	9,6	206	153	0,27	4,1	0,13	<0,01	<0,001	<0,1	0,085	<0,001	0,077	0,33
Референц.	250-900	1000-2000	1000-1500	0,006-0,015	0,35-1,0	0,35-1,0	15-30	0,05-0,12	15-20	150-250	500-1000	0,35-1,0	1-3	0,5-0,10	0,1-0,25	<0,2	0,8-1,5	0,02-0,04	0,02-0,05	0,1-0,3	0,1-0,4

Обсуждение

Полученные в ходе исследования результаты нейтронно-активационного анализа образцов волос пациентов свидетельствуют о значительной вариабельности элементного состава как между отдельными пациентами, так и по сравнению с референсными значениями. Данные, представленные в таблице, позволяют провести детальный анализ содержания макро- и микроэлементов, а также токсичных и ультраследовых элементов, что является важным для оценки элементного статуса организма и возможных патологических отклонений.

Прежде всего, обращает на себя внимание широкий диапазон концентраций макроэлементов, таких как натрий, калий, кальций и хлор. Концентрация натрия в волосах пациентов колеблется от крайне низких значений (100–200 мкг/г у пациентов №9, №10, №20) до значительно повышенных (более 6000 мкг/г у пациента №11), что выходит за пределы референсного интервала 250–900 мкг/г. Подобные отклонения могут указывать на нарушения водно-солевого обмена, особенности питания или влияние внешних факторов, включая климатические условия и экологическую обстановку. Избыточное содержание натрия в волосах нередко связывают с хроническим стрессом, артериальной гипертензией и повышенной нагрузкой на сердечно-сосудистую систему.

Содержание калия также демонстрирует существенные различия между пациентами.

При референсных значениях 500–1000 мкг/г у ряда пациентов (№6, №7, №9, №10, №14, №15) отмечается выраженный дефицит калия, тогда как у других (№3, №11, №17,

№18) наблюдаются значения, превышающие норму. Калий играет ключевую роль в регуляции клеточного потенциала, работе нервной и мышечной систем, поэтому его дисбаланс может быть связан с нарушениями сердечного ритма, мышечной слабостью и утомляемостью. Выявленные отклонения подчеркивают диагностическую значимость анализа волос для оценки хронического калиевого статуса организма.

Кальций, являющийся одним из важнейших макроэлементов, демонстрирует как дефицитные, так и избыточные значения. При референсном интервале 1000–1500 мкг/г у значительной части пациентов (№1, №5, №7, №9, №11, №12, №16) наблюдаются пониженные концентрации кальция, что может указывать на риск развития остеопороза, нарушения костного метаболизма или дефицит витамина D. В то же время у пациентов №2 и №13 зафиксированы крайне высокие значения кальция, что потенциально может быть связано с эндокринными нарушениями или особенностями минерального обмена.

Анализ микроэлементов, таких как железо, цинк, медь, марганец и кобальт, позволяет выявить более тонкие нарушения элементного баланса. Железо, референсные значения которого составляют 15–30 мкг/г, у большинства пациентов находится в пределах нормы или незначительно ниже. Однако у отдельных пациентов (№6, №12, №13, №14) концентрация железа приближается к нижней границе или выходит за нее, что может свидетельствовать о латентном железодефиците. У пациентов с повышенным содержанием железа (№1, №7, №18) возможно наличие хронических воспалительных процессов или повышенного поступления железа с пищей.

Цинк является одним из ключевых микроэлементов, участвующих в иммунных реакциях и ферментативной активности. В исследуемых образцах его содержание варьирует от 56 до 241 мкг/г, при референсных значениях 150–250 мкг/г. У значительного числа пациентов (№1, №3, №7, №18) отмечается выраженный дефицит цинка, что может быть связано со снижением иммунитета, замедлением регенеративных процессов и повышенной восприимчивостью к инфекционным заболеваниям. Дефицит цинка в волосах часто рассматривается как индикатор хронической недостаточности данного элемента в организме.

Медь и кобальт в большинстве случаев присутствуют в концентрациях ниже референсных значений, что также может указывать на дефицит. Особенно низкие значения кобальта, зафиксированные у большинства пациентов, заслуживают внимания, поскольку кобальт входит в состав витамина B12 и играет важную роль в процессах кроветворения.

Низкие концентрации данного элемента могут быть связаны с анемическими состояниями и нарушениями обмена веществ.

Марганец, участвующий в регуляции антиоксидантных процессов и метаболизме углеводов, в ряде случаев превышает референсные значения (например, у пациентов №2, №5, №8, №10, №14). Избыточное содержание марганца может быть обусловлено профессиональными факторами или экологическим воздействием и потенциально связано с нейротоксическими эффектами при длительном накоплении.

Особый интерес представляет анализ токсичных элементов, таких как ртуть, сурьма, серебро и уран. Несмотря на то что концентрации большинства токсичных элементов находятся ниже предельно допустимых значений, у отдельных пациентов отмечаются

повышенные уровни ртути (№8, №14, №15, №19), что может указывать на хроническое воздействие данного токсиканта. Ртуть является нейротоксичным элементом, и даже относительно небольшие превышения могут иметь клиническое значение при длительном воздействии.

Содержание селена в волосах пациентов в целом соответствует референсному интервалу 0,35–1,0 мкг/г, однако у некоторых пациентов наблюдаются пониженные значения. Селен играет важную роль в антиоксидантной защите и функционировании щитовидной железы, поэтому его дефицит может быть связан с эндокринными и иммунными нарушениями.

Интересны также данные по содержанию йода, референсные значения которого составляют 0,8–1,5 мкг/г. У большинства пациентов концентрация йода в волосах значительно ниже нормы, что может отражать общую тенденцию йододефицита, характерную для ряда регионов. Данный факт имеет важное значение для профилактики заболеваний щитовидной железы и подтверждает целесообразность использования анализа волос для оценки йодного статуса населения.

Наличие редкоземельных и ультраследовых элементов, таких как лантан и золото, в большинстве образцов находится на уровне следовых концентраций. Хотя их биологическая роль до конца не изучена, накопление данных по этим элементам может представлять интерес в контексте экологического мониторинга и оценки техногенного воздействия. Сравнительный анализ данных таблицы с референсными значениями показывает, что у большинства пациентов выявляются отклонения по нескольким элементам одновременно, что свидетельствует о комплексном характере элементного дисбаланса. Это подтверждает положение о том, что нарушение элементного статуса редко носит изолированный характер и, как правило, связано с совокупным воздействием эндогенных и экзогенных факторов.

Полученные результаты согласуются с данными, представленными в научной литературе, где подчеркивается высокая информативность анализа волос для оценки хронического микроэлементного статуса. Применение нейтронно-активационного анализа позволяет с высокой точностью определять концентрации элементов в широком диапазоне, что делает данный метод особенно ценным для медико-биологических исследований.

В то же время следует отметить, что интерпретация результатов анализа волос требует осторожного подхода. На элементный состав волос могут влиять косметические процедуры, скорость роста волос, возраст и пол пациентов. Поэтому полученные данные целесообразно рассматривать в комплексе с клинической информацией и результатами других лабораторных исследований.

Таким образом, обсуждение результатов показывает, что нейтронно-активационный анализ волос является эффективным инструментом для выявления элементного дисбаланса и оценки потенциальных рисков для здоровья пациентов. Представленные данные демонстрируют как дефицит жизненно важных микроэлементов, так и наличие токсичных элементов в ряде образцов, что подчеркивает необходимость дальнейших комплексных исследований и разработки персонализированных подходов к коррекции элементного статуса.

Закключение

Проведённое исследование элементного состава волос пациентов методом нейтронно-активационного анализа позволило получить информативные и достоверные данные о содержании макро-, микро- и токсичных элементов в биологическом материале.

Полученные результаты подтверждают высокую аналитическую ценность волос как индикатора длительного и интегрального накопления химических элементов в организме человека. В отличие от традиционных биологических сред, таких как кровь и моча, волосы отражают хроническое воздействие как внутренних физиологических процессов, так и внешних факторов окружающей среды.

Анализ показал, что у большинства обследованных пациентов наблюдаются отклонения концентраций отдельных элементов от референсных значений. Наиболее часто выявлялись нарушения баланса жизненно важных макроэлементов — натрия, калия и кальция, что может быть связано с особенностями питания, водно-солевого обмена и функционального состояния сердечно-сосудистой и костной систем. Существенная вариабельность содержания микроэлементов, таких как железо, цинк, медь и марганец, указывает на возможное наличие латентных дефицитных состояний или, напротив, избыточного накопления, потенциально способного оказывать негативное влияние на обменные и иммунные процессы.

Особое внимание заслуживают результаты, связанные с выявлением токсичных элементов, включая ртуть и уран, даже в низких концентрациях. Их присутствие в волосах свидетельствует о хроническом воздействии неблагоприятных экологических или профессиональных факторов и подчёркивает актуальность применения высокочувствительных методов анализа для биомониторинга состояния здоровья населения. Также выявленный дефицит йода у большинства пациентов подтверждает распространённость йододефицитных состояний и необходимость профилактических мероприятий на региональном уровне.

Нейтронно-активационный анализ продемонстрировал ряд значимых преимуществ, включая высокую чувствительность, многоэлементность, отсутствие разрушения образцов и минимальную пробоподготовку. Эти характеристики делают данный метод особенно перспективным для использования в медико-биологических исследованиях, клинической диагностике и экологическом мониторинге. Полученные данные могут служить основой для дальнейших исследований, направленных на установление корреляций между элементным статусом и конкретными патологическими состояниями.

В целом результаты работы подтверждают целесообразность применения нейтронно-активационного анализа волос для комплексной оценки элементного баланса организма. Использование данного подхода в сочетании с клиническими и эпидемиологическими данными открывает возможности для раннего выявления нарушений микроэлементного статуса, разработки индивидуальных профилактических и коррекционных мер, а также повышения эффективности мониторинга здоровья населения.

Foydalanilgan adabiyotlar.

1. Turatov Hojiakbar Shavkat o'g'li. Neytron aktivatsion analiz xizmatlarini taqdim etish usullari. New Renaissance. ISSN:3030-3753. Volume 2. Issue 11. 2025. pp. 965-968.
2. To'xtamishov Nodirbek To'laboy o'g'li, Erkin Xojiyevich Bozorov. Energy Loss Mechanisms of Protons in Biological Tissues. New Renaissance. 2025. Volume 2. Issue 12. pp 915-917.
3. Neutron activation analysis of human hair — multivariate analysis of factors influencing on trace element contents in hair. Journal of Radiation Research and Applied Sciences.
4. Hair analysis — a critical review. Clin Chem. 1981;27(11):1952-3
5. The variation of trace element concentration in human hair: the trace element profile in human long hair by sectional analysis using neutron activation analysis. Journal of Nuclear Analytical Methods.
6. G'anjonov Nurullo Usmonjon o'g'li, Erkin Xojiyevich Bozorov. Dosimetric Analysis of Proton Beams in Medical Imaging and Radiotherapy. Conference of Advence Science & Emerging Technologies. 2025. Pp 69-73
7. Neutron activation analysis of trace elements in human hair: Effect of dietary and environmental factors. International Journal of Radiation Applications and Instrumentation B: Nuclear Medicine and Biology.
8. Hair elemental analysis for forensic science using nuclear and related analytical methods. Forensic Chemistry. 2018;7:65-74
9. Determination of minor and trace elements in human hair — an interlaboratory comparison. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy. 2025;230:107236.
10. O'rinboyeva Oqila. Ramazonov Asror Xamrayevich. Treatment of Human Skin Disorders Using Laser Therapy: Advances and Methodologies. "Modern Science and Research. ISSN: 2181-3906. 2025. Volume 4. Issue 12. pp 1285-1288.
11. Determination of the trace element composition of human hair. Medical Academic Journal. Vol 20, No 3 (2020).
12. Элементный состав волос — индикатор природно-техногенной обстановки Ташкентской области. Журнал Микроэлементы в медицине. 2020;21(3):24-32 — исследование НАА в Узбекистане.
13. Референтные значения содержания микроэлементов в волосах взрослых жителей Удмуртской Республики. Журнал Микроэлементы в медицине.