

УДК 504.75.05

Элементный статус населения как индикатор экологического загрязнения

*Побилат А.Е.¹, Киричук А.А.¹, Сальникова Е.В.², Байтелова А.И.², Рахимова Н.Н.²,
Бурцева Т.И.²*

¹ Российский университет дружбы народов

² Оренбургский государственный университет

Аннотация

Как известно из многочисленных научных данных на здоровье человека основное влияние оказывает окружающая среда и продукты питания. Концентрация химических элементов в волосах отражает экологическое состояние территории, которое формируется под влиянием природных и/или антропогенных факторов. Формирования причинно-следственных связей экологического риска возникновения и развития заболевания андрогенной алопеции послужили основой для качественной и количественной характеристики факторов, влияющих на возникновение рассматриваемого заболевания на примере жителей Красноярского края. Представленный анализ корреляционных связей между количественным содержанием макро- и микроэлементов в окружающей среде, продуктах питания и количественным содержанием элементов в волосах позволил установить множество достоверных связей. При этом достоверные корреляционные связи в большей степени установлены между содержанием химических элементов в волосах и зерновых продуктах. Тогда как для микроэлементов, содержащихся в почве и в волосах установлено минимальное значение, что, по нашему мнению, связано с тем, что в почве определялось валовое содержание исследуемых макро- микроэлементов.

Ключевые слова: ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК, АНДРОГЕННАЯ АЛОПЕЦИЯ, МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СТАТУС, КОНЦЕНТРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Введение

Как известно из многочисленных научных данных на здоровье человека основное влияние оказывает окружающая среда и продукты питания, конечно по многим заболеваниям нельзя исключать из внимания такие факторы как: наследственность, генетическая предрасположенность, психологическая обстановка и прочее. В этой связи мы проанализировали возможное негативное влияние на возникновение и развитие заболевания андрогенной алопеции таких факторов окружающей среды как почва, вода, зерновые и растительные продукты питания.

Как известно концентрация химических элементов в волосах отражает экологическое состояние территории, которое формируется под влиянием природных и/или антропогенных факторов [1].

Формирования причинно-следственных связей экологического риска возникновения и развития заболевания андрогенной алопеции послужили основой для качественной и количественной характеристики факторов, влияющих на возникновение рассматриваемого заболевания на примере жителей Красноярского края.

Данный анализ включает в себя расчет корреляционных взаимосвязей и регрессионный анализ. Корреляционный анализ – это количественный метод определения тесноты и направления взаимосвязи между выборочными переменными величинами. Регрессионный анализ – это количественный метод определения вида математической функции в причинно-следственной зависимости между переменными величинами.

С этой целью мы проанализировали содержание микроэлементов в волосах жителей Красноярска, продуктах питания и объектах окружающей среды.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие жители Красноярска, 49 мужчин и 57 женщин, страдающих заболеванием андрогенная алопеция. Исследование проводилось по 25 элементам. Результаты сравнивали с референтными значениями, установленными для жителей здорового населения Российской Федерации [2].

Волосы для анализа длиной 2–4 см были сострижены с нескольких участков затылочной части головы, масса одной пробы – около 100 мг. Пробы волос были очищены и обезжирены помещением в ацетон и оставлены до высыхания в сушильном шкафу.

Далее пробы волос и объекты окружающей среды передали в испытательный центр

ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН, где был проведен анализ волос на микроэлементы с помощью масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргоновой плазмой Agilent 7900 ICP-MS.

Статистическая обработка материала проводилась с использованием пакета программ Statistica. Тип распределения для выборок определяли с помощью критерия Шапиро–Уилка. Для описания количественных данных, имеющих нормальное распределение, использовали среднее арифметическое (M), стандартную ошибку среднего арифметического (m). Параметры с ненормальным распределением и наличием ряда экстремальных значений представляли как медиану (Me), а в качестве мер рассеивания использовали 25–75 перцентилей (пс). Достоверность различий изучаемых параметров анализировали с применением критериев Фишера–Стьюдента и Манна–Уитни: за достоверные принимали различия при значениях <0,05. Для определения тесноты и достоверности связи между параметрами применяли критерий ранговой корреляции Спирмена (rs), который является непараметрическим аналогом коэффициента Пирсона для интервальных и порядковых переменных, не подчиняющихся нормальному распределению. Коэффициент равен +1,0 при прямой связи, –1,0 – при обратной связи, 0 – при отсутствии связи. Сила корреляционной связи оценивалась качественно: при r от 0 до –0,3 и до +0,3 – как отсутствие ее или слабая; при r до 0,5 – как умеренная; при r от 0,51 до 0,7 – как средняя; при r более 0,71 – как сильная [3].

Уравнение множественной регрессии имеет вид:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n,$$

где: y – результативный признак;

x_1, \dots, x_n – факторные признаки;

a, b_1, \dots, b_n – параметры уравнения регрессии.

Построение уравнения регрессии сводится к оценке ее параметров.

Тесноту совместного влияния факторов на результат оценивает индекс множественной корреляции:

$$R_{yx_1x_2\dots x_n} = \sqrt{1 - \frac{\sigma_{y_{ост}}^2}{\sigma_y^2}},$$

где: $\sigma_{\text{ост}}^2$ – остаточная дисперсия результивного признака;

σ_y^2 – общая дисперсия результивного признака.

Исходя из вышеприведенной формулы нужно сказать, что индекс детерминации R^2 характеризует долю дисперсии, объясняемую регрессией в общей дисперсии результивного признака. Статистическая значимость уравнения регрессии и показателя тесноты связи оценивается с помощью F-критерия Фишера. Наряду с этим оценку статистической значимости параметров регрессии проводят с помощью расчёта t-критерия Стьюдента [4].

Результаты и обсуждения

Проведенный анализ медианных значений позволил нам сформировать элементный профиль обследованных больных андрогенетической алопецией и выглядит он следующим образом:

$$\text{мужчины} = \frac{\uparrow \text{K, P, Zn}}{\downarrow \text{Co}} ; \quad \text{женщины} = \frac{\uparrow \text{Ca, K, P, Zn}}{\downarrow \text{Co}}$$

То есть как для мужчин, так и для женщин характерно повышенное содержание калия, фосфора и цинка наряду с дефицитом кобальта. Выпадает только кальций, и мы это связываем с гормональными особенностями женской половой системы.

И так для больных андрогенетической алопецией характерно пониженное содержание кобальта в волосах и повышенное выведение калия, фосфора и цинка. Далее мы провели корреляционный анализ с целью определения возможного влияния окружающей среды и продуктов питания на возникновение заболевания андрогенной алопеции.

При рассмотрении составленных таблиц по достоверным корреляционным связям между микроэлементным составом волос и элементным составом объектов окружающей среды мы видим достоверную сильную связь между кобальтом в почве и кальцием и ртутью в волосах, а также магнием в волосах и свинцом в почве. Связь между йодом в волосах и рядом токсичных элементов в почве, скорее всего, говорит об элиминации йода из организма обследованных больных. Кроме того, обращает на себя внимание и прямая корреляционная связь между свинцом в почве и в волосах, причем это же характерно и для

пары вода/волосы. Аналогичное явление установлено и для ртути (табл. 1). Мы предполагаем, что это связано с высокой способностью свинца и ртути усваиваться и накапливаться в организме человека.

Что касается воды, то здесь установлено гораздо больше прямых сильных связей, что скорее всего говорит об отсутствии промежуточного звена в пищевой цепочке. Да, конечно, современный человек пьет в основном хорошо очищенную питьевую воду, но не всегда вода подвергается нормированию по минеральному составу, так как это, безусловно, дорого, что и отражено в настоящих исследованиях.

Таблица 1. Достоверные корреляционные связи между микроэлементным составом волос больных андрогенетической алопецией и элементным составом объектов окружающей среды

Показатель / волосы	Почва				Вода									
	Co	Hg	Cr	Pb	Mn	Cd	As	Hg	Cu	Pb	Cr	Ni	Zn	
K								0,5265	0,6178	0,5743	0,8502		0,8981	
Na											0,6652		0,7869	
Ca	0,9441				0,6702	0,7578	0,5639	0,8675	0,9196	0,8469	0,9990	0,5541	0,8232	
Mg				0,9781								0,9976		
P								0,5402	0,6322	0,5008	0,8798		0,9884	
Fe					0,5577	0,5458		0,5057	0,4561			0,8298		
Zn											0,7388		0,9325	
Cu					0,8858	0,8263		0,7134	0,6348	0,7523				
Se					0,9294	0,4863		0,6416	0,7240	0,6011			0,9640	
I		0,6440	0,4976	0,5676	0,8001	0,7209		0,5790	0,4786	0,5644			0,4758	
Mn					0,8360	0,7612	0,4725	0,6251	0,5290	0,6234				
Co													0,8308	
Cr												0,9836		
Ni					0,9407	0,9529	0,8395	0,9409	0,9106	0,8778	0,7209			
Hg	0,6759				0,7326	0,6524	0,5927	0,5145		0,5825			0,4835	
Pb				0,4569	0,9200	0,8804	0,8453	0,7925	0,7184	0,7422				

Примечание: коэффициент корреляции $r > 0,4561$, соответствует $p < 0,05$. Горизонтальный ряд – элементы в объектах окружающей среды, вертикальный ряд – элементы в волосах.

При рассмотрении корреляционных связей обращают на себя внимание прочные связи между цинком, медью, марганцем, содержащихся в волосах и в воде. Нами показано, что на выведение кальция влияют все изученные нами химические элементы, содержащиеся в воде. При этом кадмий, ртуть, медь и свинец, содержащиеся в воде, достоверно вытесняют медь, селен и йод из организма обследованных больных. Наряду с этим достоверная элиминация наблюдается и по железу, так как на его содержание влияет

марганец, кадмий, ртуть, медь и свинец.

Кроме того, установлены достоверные взаимосвязи для фосфора и калия с рядом микроэлементов в воде: ртутью, кадмием, свинцом, хромом и цинком, а также натрий достоверно взаимодействует с хромом и цинком.

Обращает на себя внимание, что содержание токсичных элементов в волосах, таких как: никель, ртуть и свинец достоверно, коррелируют с рядом химических элементов в воде, таких как: марганец, кадмий, мышьяк, ртуть, медь, свинец.

Множество достоверных корреляционных связей установлено между микроэлементным составом волос больных андрогенетической алопецией и микроэлементным составом продуктов питания (табл. 2).

Причем достоверных связей установлено гораздо больше для зерновых продуктов питания. Это, по нашему мнению, связано с тем, что именно зерновые продукты являются основным источником микроэлементов в организм человека и они же составляют основное звено в цепочках питания, которые и связывают окружающую среду с организмом человека.

Достоверные корреляционные связи характерны для таких элементов как медь, марганец, кобальт и хром, причем как в паре волосы/зерновые продукты, так и в паре волосы/растительные продукты питания. Кроме того, по никелю в зерновых продуктах и для свинца в растительных продуктах.

Надо отметить, что для всех эссенциальных элементов в волосах обследованных лиц характерны достоверные прочные корреляционные связи с токсичными элементами, содержащихся хоть и в незначительных количествах (согласно нашим предварительно полученным данным) в зерновых и растительных продуктах. Данный факт, по нашему мнению, указывает на элиминацию эссенциальных микроэлементов, таких как натрий, кальций, магний, железо, йод и селен.

Следующим этапом нашего исследования был количественный метод определения вида математической функции в причинно-следственной зависимости между кобальтом – дефицит которого в волосах больных андрогенетической алопецией был установлен нами, причем в обеих обследованных половых группах, что на наш взгляд является явным предиктором развития данного заболевания – это обстоятельство и послужило основанием для проведения количественного анализа.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Таблица 2. Достоверные корреляционные связи между микроэлементным составом волос больных андрогенетической алопецией и элементным составом продуктов питания

Показатель / волосы	Зерновые продукты									Растительные продукты питания								
	Cu	Zn	Mn	Co	Hg	Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Zn	Mn	Co	Hg	Cd	Cr	Ni	Pb
Na	0,9074	0,9330	0,6630	0,4717	0,8585	0,9074		0,9985	0,9994		0,4718		0,5506					0,4969
Ca	0,7988	0,8366	0,4909	0,6465	0,9471	0,7988		0,9651	0,9839									0,5533
Mg	1,0000	0,9976	0,9174		0,5611	1,0000		0,9273	0,8920	0,4882				0,5253				
P	0,6014	0,5476	0,8711	0,7629		0,6014	0,9103				0,4287						0,7831	
Fe	0,8899	0,9179	0,6325	0,5067	0,8783	0,8899		0,9956	0,9999	0,5629			0,7413			0,4501		
Zn	0,5409	0,4845	0,8326	0,8084	0,3898	0,5409	0,9383			0,6135		0,4181	0,4348			0,7486		
Cu	0,7678	0,8082	0,4467	0,6838	0,9619	0,7678	0,4589	0,9508	0,9380	0,4958		0,5384		0,7049		0,6120		0,5309
Se			0,6507	0,9380	0,6255		0,9969			0,9163			0,6190			0,5861		
I	0,9405	0,9608	0,7256		0,8106	0,9405		0,9994	0,9928	0,6509	0,5801		0,9699	0,5519	0,5500		0,6392	0,5643
Mn			0,4895	0,9877	0,7661		0,9928					0,6041					0,4647	
Co			0,5351	0,9780	0,7309		0,9978						0,7276			0,9399		
Cr		0,4969		0,9223	0,9896		0,7819	0,7412	0,7958				0,7189			0,5779		
Ni	0,9517	0,9295	0,9949			0,9517	0,5059	0,7696	0,7123	0,5140	0,4849	0,4732	0,4549		0,5677			0,6630
Hg	0,7741	0,7309	0,9629	0,5873		0,7741	0,7857	0,4837				0,5114				0,6595		
Pb			0,4549	0,9930	0,7907		0,9874			0,4882		0,4950			0,5426			0,6713
Cd			0,7581	0,8747	0,5002		0,9737			0,6873		0,5431		0,7038		0,5065		0,6911

Так в качестве результивного признака рассматривается содержание Со в волосах, факторными признаками которого являются концентрации кобальта в почве, зерновых продуктах и продуктах питания.

Уравнение регрессии имеет вид:

$$y = -0,008 + 0,0001x_1 + 0,0881x_2 + 0,0459x_3 \quad (1)$$

где: x_1 – концентрация кобальта в почве;

x_2 – концентрация кобальта в зерновых продуктах;

x_3 – концентрация кобальта в продуктах питания.

Для указанного регрессионного соотношения рассчитанный показатель множественной корреляции R составил 0,64, что говорит о заметной зависимости концентрации кобальта в волосах от концентрации факторных признаков.

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,41$ показывает, что изменение концентрации кобальта в волосах на 41% объясняется вариациями содержания рассматриваемых элементов в волосах.

Полученное значение F-критерий Фишера $F = 3,65$ с вероятностью значимости $p = 0,035$ утверждает достоверность полученного уравнения регрессии и коэффициента детерминации.

Для сопоставления реальных и предсказанных значений по каждому показателю регрессии составлены графики подбора значений показателей (рис. 1–3).

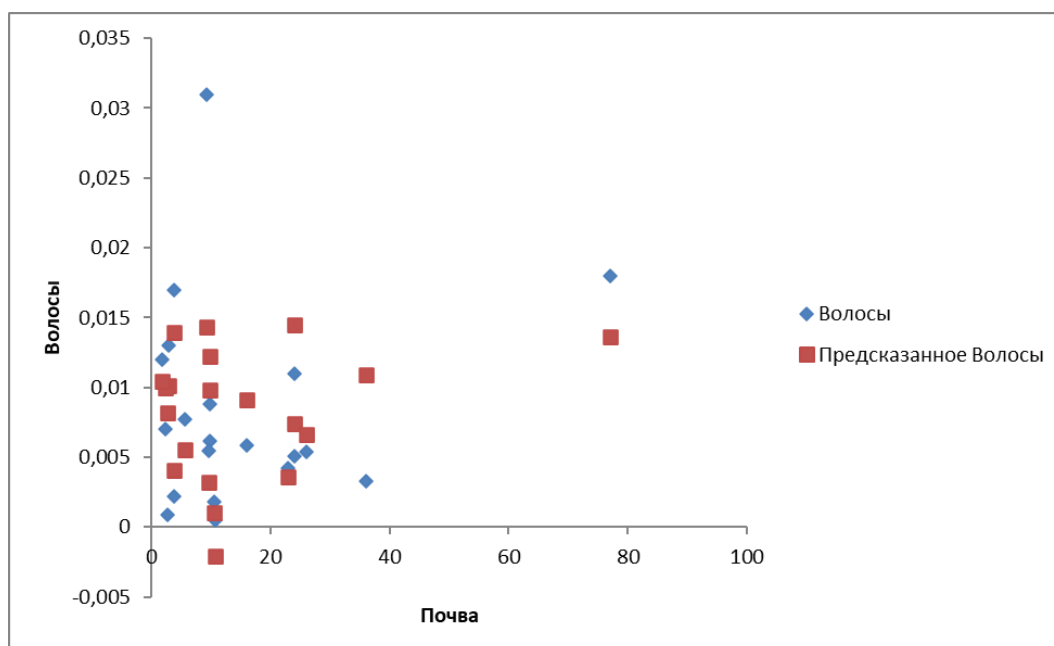


Рис. 1. График подбора значений кобальта в почве и в волосах

Чем более упорядоченные значения разброса отражены на графиках, тем более выражена связь, а чем меньше отклонений между реальными и предсказанными значениями – тем более точно подобрана модель.

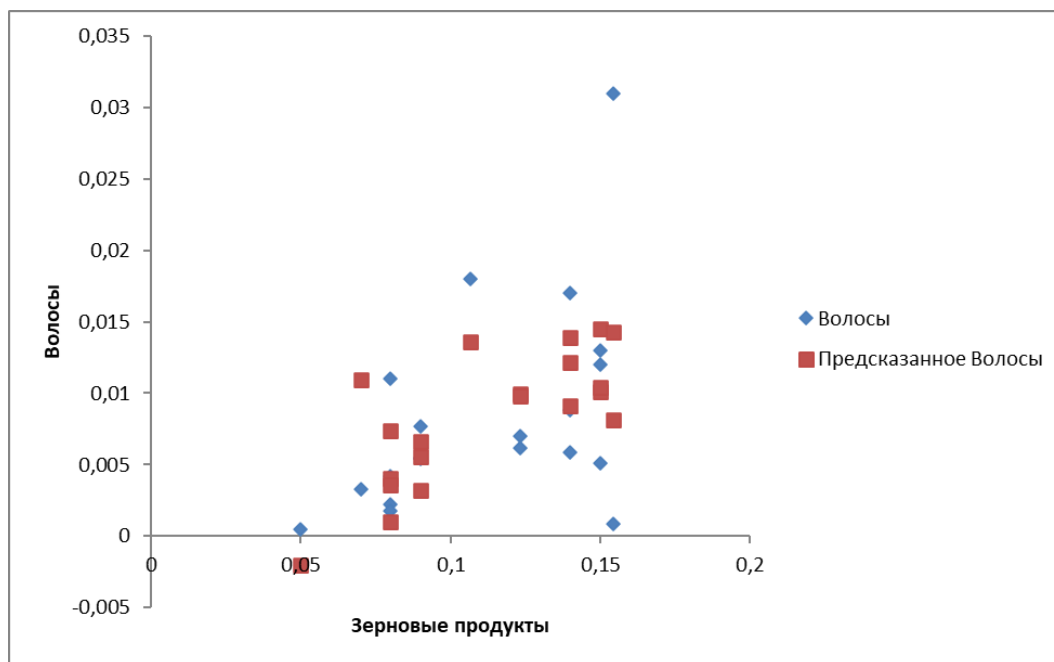


Рис. 2. График подбора значений кобальта в зерновых продуктах и в волосах

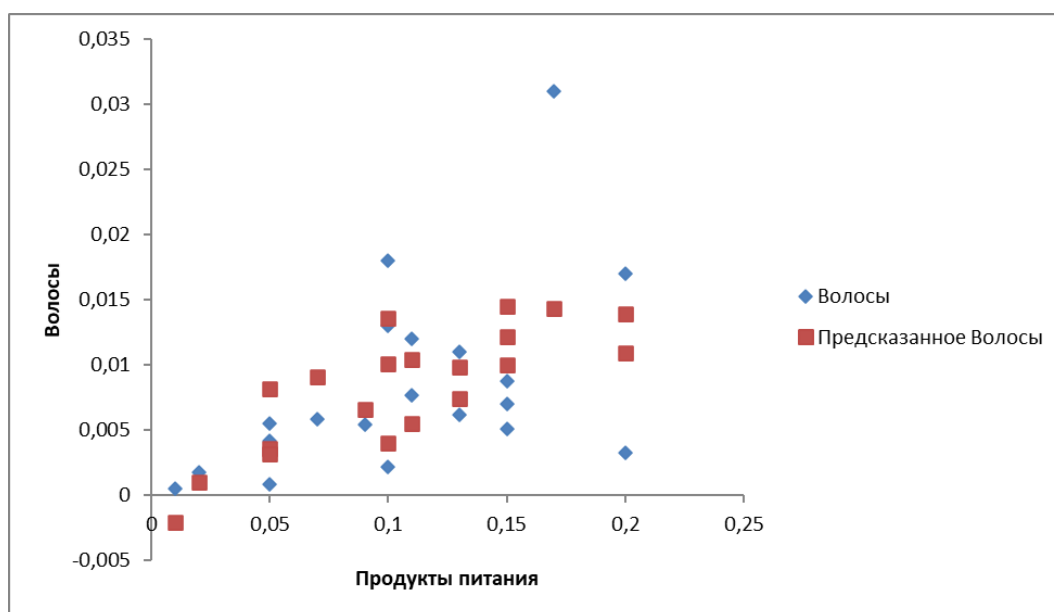


Рис. 3. График подбора значений кобальта в продуктах питания и в волосах

Значения *t*-критерия Стьюдента для каждого параметра регрессии приведено в таблице 3.

Таблица 3. Значения *t*-критерия Стьюдента для каждого параметра регрессии

Параметр регрессии	<i>t</i> -критерий	Вероятность, <i>p</i>
<i>Y</i>	-1,452	0,166
<i>x</i> ₁	1,168	0,26
<i>x</i> ₂	1,879	0,079
<i>x</i> ₃	1,632	0,122

Чтобы принять статистическую значимость параметра регрессии, вероятность должна быть меньше либо равна 0,05 (в некоторых случаях возможно 0,1). В рассматриваемом случае только фактор *x*₂ является значимым.

Таким образом, содержание кобальта в зерновых продуктах оказывает достоверно значимое влияние на содержание кобальта в волосах.

Выводы

Проведенное нами исследование, включающее изучение содержания концентраций макро- и микроэлементов в объектах окружающей среды, продуктах питания, произведенных на территории Красноярского края, дает возможность определить элементный профиль обследованных жителей, а также провести оценку их взаимосвязей. Это позволяет сделать более развернутой характеристику микроэлементного статуса обследованных больных андрогенетической алопецией, проживающих на территории Красноярского края.

Представленный анализ корреляционных связей между количественным содержанием макро- и микроэлементов в окружающей среде, продуктах питания и количественным содержанием элементов в волосах позволил установить множество достоверных связей. При этом достоверные корреляционные связи в большей степени установлены между содержанием химических элементов в волосах и зерновых продуктах. Тогда как для микроэлементов, содержащихся в почве и в волосах, установлено минимальное значение, что, по нашему мнению, связано с тем, что в почве определялось валовое содержание исследуемых макро- микроэлементов. Что касается количественного анализа, то нами показано, что содержание кобальта в зерновых продуктах оказывает

достоверно значимое влияние на содержание кобальта в волосах.

Все вышеизложенное дает нам возможность в определенной мере утверждать, что факторы окружающей среды оказывают влияние на возникновение и развитие заболевания андрогенной алопеции. А установленный дефицит кобальта в биосубстратах обследованных больных андрогенетической алопецией - является предиктором возникновения заболевания андрогенной алопеции.

Список использованных источников:

1. Skalny A.V., Radysh I.V., Skalnaya M.G., Tinkov A.A. Introduction to bioelementology: Textbook. – М.: RUDN, 2017. – 253 p.
2. Афтанс Л.И. и др. Элементный статус населения России. Ч. 4: Элементный статус населения Приволжского и Уральского федерального округов. – СПб.: Медкнига «Элби-СПб», 2013. – 576 с.
3. Лакин Г.Ф. Биометрия. – 3-е издание. – Москва : Издательство "Высшая Школа", 1980. – 291 с.
4. Skalny A.V., Burtseva T.I. Geographic variation of environmental, food, and human hair selenium content in an industrial region of Russia / Environmental Research, 2019. - Vol. 171. - P. 293-301. - 9 с. The objective of the present study was investigation of the selenium (Se) levels in environmental samples, main consumed food products, as well as human hair in the areas of the Orenburg region.

Цитирование:

Побилат А.Е., Киричук А.А., Сальникова Е.В., Байтелова А.И., Рахимова Н.Н., Бурцева Т.И. Элементный статус населения как индикатор экологического загрязнения [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2024. – № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/1/st_120.pdf
DOI: <https://doi.org/10.51419/202141120>.