

### БИОГЕОХИМИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА–РАСТЕНИЕ–ЖИВОТНОЕ В УСЛОВИЯХ ЮГА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье приведены результаты исследований по содержанию тяжелых металлов в почве и растительных кормах на юге Тюменской области. Выявлено, что количество свинца, кадмия, ртути и мышьяка в мышечной ткани крупного рогатого скота и свиней соответствует установленным нормам и не вызывает опасений.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, сельскохозяйственные культуры, молоко крупного рогатого скота.

Ye.V. Gaevaya, Ye.V. Zakharova, L.N. Skipin

### ELEMENT BIOGEOCHEMISTRY IN THE SOIL–PLANT–ANIMAL SYSTEM OF THE TYUMEN REGION SOUTH CONDITIONS

The research results on the heavy metal content in soil and plant fodder in the Tyumen region south are given in the article. It is revealed that the amount of lead, cadmium, mercury and arsenic in the muscle tissue of cattle and pigs meet the established standards and is safe.

**Key words:** heavy metals, agricultural crops, cattle milk.

**Введение.** Все основные циклы миграции тяжелых металлов в биосфере (водные, атмосферные, биологические) начинаются в почве, потому что именно в ней происходит мобилизация металлов и образование различных миграционных форм. Почва (ее тонкодисперсные частицы и органическое вещество) – важнейший фактор, регулирующий поступление тяжелых металлов в растения [1].

Повышенный уровень токсичных металлов в почве приводит к их накоплению в растительных кормах и отрицательно влияет на организм животных и качество получаемых от них продуктов [2].

Проблема загрязнения объектов природной среды экотоксикантами остаётся одной из наиболее важных в стране. В условиях Тюменской области предприняты первые попытки исследования в этом направлении. Данная работа посвящена изучению экологического состояния компонентов агроэкосистем с учётом подверженности их техногенному загрязнению тяжёлыми металлами, а также общего состояния геохимического фона изучаемой территории.

**Цель исследований.** Провести оценку состояния почвы, продукции растениеводства и животноводства по содержанию тяжёлых металлов на юге Тюменской области.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Исследования проводились в испытательной лаборатории на соответствие установленным требованиям по содержанию тяжелых металлов в почве, продукции растениеводства и животноводства. Определение осуществлялось на атомно-абсорбционных спектрах «МГА-915» согласно ГОСТ 30178-96 (свинец, мышьяк, кадмий), «РА-915» согласно МВИ М 04-46-2007 (ртуть).

Наглядное представление о сложившейся ситуации в сельскохозяйственной зоне Тюменской области по содержанию тяжёлых металлов в почве дают данные таблицы 1.

Таблица 1

#### Среднее содержание подвижных форм тяжелых металлов в пахотном горизонте почв юга Тюменской области, мг/кг

Район	Zn	Cu	Cd	Pb	pH
1	2	3	4	5	6
Тобольский	1,14±0,34	0,43±0,13	0,09±0,03	1,80±0,54	5,30
Вагайский	1,54±0,46	0,31±0,09	0,12±0,04	1,48±0,44	5,40
Нижнетавдинский	0,82±0,25	0,31±0,15	0,12±0,04	2,46±0,74	5,20

1	2	3	4	5	6
Ярковский	1,20±0,36	0,51±0,09	0,07±0,02	1,77±0,53	5,60
Юргинский	0,57±0,17	0,30±0,02	0,06±0,02	3,04±0,91	5,40
Аромашевский	0,01±0,02	0,05±0,02	0,01±0,01	0,05±0,02	5,40
Викуловский	0,01±0,02	0,05±0,02	0,11±0,03	1,40±0,44	5,60
Сорокинский	0,01±0,02	0,05±0,02	0,01±0,01	0,05±0,02	6,00
Тюменский	1,23±0,37	0,64±0,19	0,11±0,03	1,63±0,49	5,70
Исетский	0,99±0,30	0,43±0,13	0,12±0,04	1,86±0,56	5,40
Ялуторовский	1,74±0,52	0,64±0,19	0,18±0,05	1,20±0,36	5,80
Заводоуковский	1,42±0,43	0,42±0,13	0,12±0,04	1,38±0,41	5,30
Упоровский	0,46±0,14	0,23±0,07	0,07±0,02	1,18±0,35	5,40
Омутинский	0,80±0,24	0,41±0,12	0,12±0,03	1,34±0,40	5,50
Голышмановский	0,01±0,02	0,05±0,02	0,11±0,03	1,15±0,35	5,70
Ишимский	0,01±0,02	0,05±0,02	0,01±0,01	0,05±0,02	5,70
Абатский	0,01±0,02	0,05±0,02	0,01±0,01	0,05±0,02	5,80
Армизонский	1,07±0,32	0,57±0,17	0,08±0,02	1,62±0,49	5,40
Бердюжский	0,01±0,02	0,05±0,02	0,01±0,01	0,05±0,02	6,00
Казанский	0,01±0,02	0,05±0,02	0,01±0,01	0,05±0,02	5,90
Сладковский	0,01±0,02	0,05±0,02	0,01±0,01	0,05±0,02	5,90
ПДК/ОДК	23,00	3,00	0,50	6,00	-

Почвы юга Тюменской области повсеместно обеднены подвижными формами цинка, а он, как известно, является одним из 10 важнейших микроэлементов, обеспечивающих жизнедеятельность всех живых организмов на земле. Среднее его содержание в почвах составило 0,62 мг/кг, что ниже нормы для обеспеченности всех групп растений.

В отличие от вышеназванных элементов свинец и кадмий являются токсичными даже в малых количествах, поэтому их содержание контролируется санитарными правилами и нормами, а присутствие в почве даже в низких концентрациях нежелательно. В результате исследований были выявлены районы с относительно высоким (по отношению к другим районам) содержанием экотоксикантов. Это характерно для Ялуторовского района, где содержание подвижных форм кадмия составило 0,18±0,05 мг/кг. В Нижнетавдинском и Юргинском районах содержание свинца достигало 2,46±0,74 г и 3,04±0,91 мг/кг соответственно.

Экологический мониторинг почв на содержание тяжелых металлов показал, что превышение их по ПДК не обнаружено, хотя содержание их на обследованных территориях распределяется неравномерно. По подвижности в почве металлы образуют следующий ряд: Pb > Cd > Zn > Cu. С увеличением кислотности почвы до 50 % кадмия переходит в подвижную форму, а около 50 % свинца, наоборот, связывается с органическим веществом почвы в недоступные для растений формы. Кроме того, с увеличением подвижности цинка наблюдается увеличение подвижности свинца, а с повышением доступности свинца уменьшается концентрация подвижных форм кадмия. Геохимическую ситуацию на юге Тюменской области можно охарактеризовать как слабоподверженную техногенному загрязнению.

Для объективной характеристики экологического и санитарно-гигиенического состояния продукции растениеводства в целом по Тюменской области были проанализированы средние данные по содержанию тяжёлых металлов в разрезе каждой культуры. Зерно яровой пшеницы, представленное из 870 партий 21 административного района, содержит тяжёлые металлы ниже ПДК по каждому элементу в отдельности (рис. 1–4). Единичные максимальные значения по содержанию меди приближались к значению ПДК (10 мг/кг) в Бердюжском, Вагайском и Упоровском районах, по цинку – в Бердюжском районе (39 мг/кг) при ПДК 50 мг/кг. Отдельные образцы с наибольшей аккумуляцией свинца в зерне яровой пшеницы в области были близки к значению ПДК (0,5 мг/кг), а в Нижнетавдинском районе соответствовали этому критерию. Относительно повышенная концентрация свинца в зерне является результатом естественного геохимического фона этого элемента в почвах Тюменской области. Максимальное значение накопления кадмия в зерне пшеницы соответствует ПДК (0,1 мг/кг) в одной из партий зерна Голышмановского и Омутинского районов. Важно отметить, что образцы зерна яровой пшеницы с превышением установленных нормативов в общем объеме выборки составили всего лишь 0,3 %.

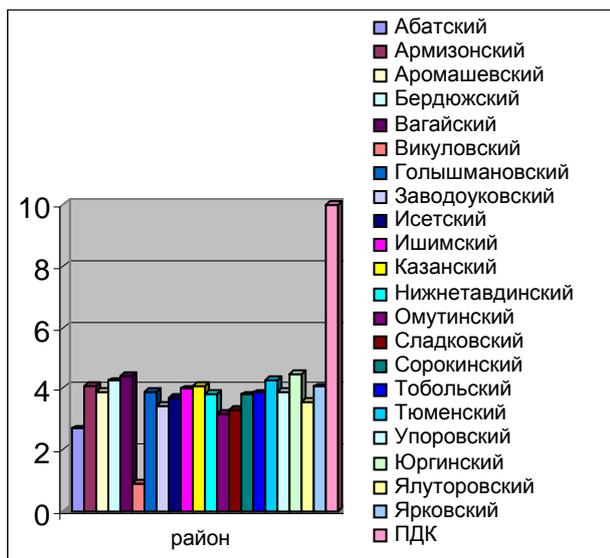


Рис. 1. Среднее содержание меди в зерне яровой пшеницы (мг/кг)

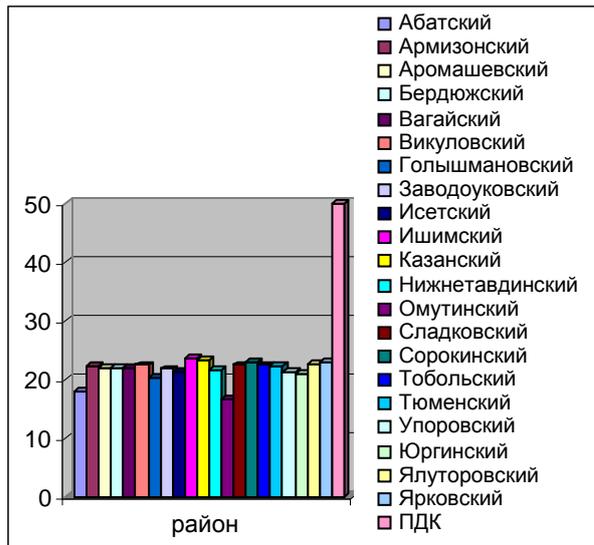


Рис. 2. Среднее содержание цинка в зерне яровой пшеницы (мг/кг)

Содержание тяжёлых металлов в зерне яровой пшеницы в порядке убывания можно выразить следующим образом:  $Zn > Cu > Pb > Hg > As$ . Ряд по коэффициенту биологического поглощения тяжёлых металлов зерном яровой пшеницы выглядит следующим образом:  $Zn, Cu$  (соответственно 14,6; 10,2 – элементы энергичного поглощения)  $> Pb$  (0,34 – элемент среднего захвата)  $> Hg, Cd$  (0,011; 0,007 – элементы очень слабого захвата).

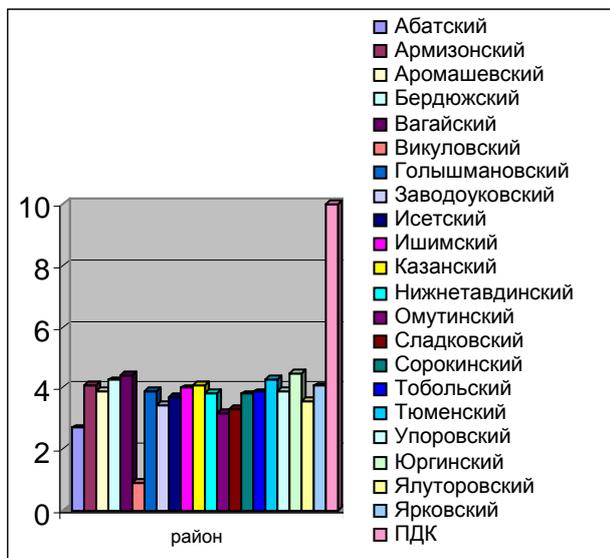


Рис. 3. Среднее содержание свинца в зерне яровой пшеницы (мг/кг)

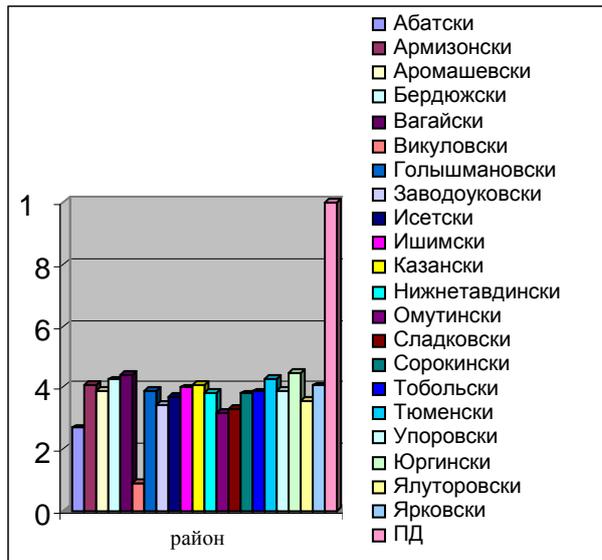


Рис. 4. Среднее содержание кадмия в зерне яровой пшеницы (мг/кг)

Для гигиенической оценки содержания тяжелых металлов использованы действующие в России нормативы допустимого содержания этих токсикантов в продовольственной продукции. Общее количество проб составило более 1000 образцов. Данные по содержанию тяжелых металлов в мышечной ткани крупного рогатого скота представлены в табл. 2.

**Содержание тяжелых металлов в мышечной ткани крупного рогатого скота в районах юга Тюменской области**

Район	Элемент, мг/кг			
	Свинец	Мышьяк	Кадмий	Ртуть
Тюменский	0,2559±0,0384	0,0573±0,0086	0,0399±0,0060	0,0028±0,0007
Исетский	0,1593±0,0239	0,0414±0,0062	0,0238±0,0036	0,0033±0,0008
Голышмановский	0,1693±0,0254	0,0345±0,0052	0,0159±0,0024	0,0049±0,0012
Тобольский	0,2023±0,0303	0,0411±0,0062	0,0173±0,0026	0,0040±0,0010
Нижнетавдинский	0,1527±0,0229	0,0346±0,0052	0,0155±0,0023	0,0028±0,0007
Викуловский	0,2041±0,0306	0,0445±0,0067	0,0412±0,0062	0,0051±0,0013
Омутинский	0,1332 ±0,0199	0,0419±0,0063	0,0103±0,0015	0,0062±0,0015
В среднем	0,1824±0,0274	0,0422±0,0063	0,0234±0,0035	0,0042±0,0010
ПДК, мг/кг	0,5	0,1	0,05	0,03

Содержание свинца в мышечной ткани находилось в интервале 0,13–0,26 мг/кг, при этом его максимальное значение наблюдалось в Тюменском районе и составило 0,26 мг/кг при ПДК 0,5 мг/кг. Концентрация мышьяка в мясе говядины была в несколько раз ниже предельно допустимых значений.

Анализ полученных данных свидетельствуют о том, что содержание кадмия находилось ниже установленных норм, а самый высокий его показатель был зафиксирован в мышцах крупного рогатого скота в Викуловском районе и составил 0,04 мг/кг при ПДК 0,05 мг/кг. Наличие ртути в мышечной ткани животных находилось в несколько раз ниже предельно допустимых концентраций и не вызывает опасений.

Молоко, являясь секретом молочной железы, отличающейся большой лабильностью в зависимости от различных условий, может являться индикатором накопления микроэлементов в организме животного. Данные по содержанию тяжелых металлов в молоке представлены в табл. 3.

**Содержание тяжелых металлов в молоке крупного рогатого скота в районах юга Тюменской области**

Район	Элемент, мг/кг			
	Свинец	Мышьяк	Кадмий	Ртуть
Тюменский	0,0808±0,0121	0,0275±0,0041	0,0131±0,0020	0,0020±0,0005
Исетский	0,0472±0,0071	0,0273±0,0041	0,0139±0,0041	0,0026±0,0006
Голышмановский	0,0766±0,0114	0,0218±0,0032	0,0067±0,0010	0,0018±0,0005
Тобольский	0,0431±0,0065	0,0182±0,0027	0,0152±0,0022	0,0030±0,0008
Нижнетавдинский	0,0589±0,0088	0,0241±0,0036	0,0140±0,0021	0,0020±0,0005
Викуловский	0,0508±0,0076	0,0241±0,0036	0,0087±0,0013	0,0020±0,0005
Омутинский	0,0564±0,0084	0,0266±0,0039	0,0133±0,0020	0,0048±0,0010
В среднем	0,0591±0,0089	0,0242±0,0036	0,0121±0,0018	0,0026±0,0007
ПДК, мг/кг	0,05	0,1	0,03	0,005

Исследования показывают, что содержание свинца в представленных образцах молока соответствует нормативным требованиям. Концентрация этого элемента в молоке коров находилось в интервале 0,04–0,08 мг/кг. Содержание мышьяка свидетельствует, что уровень этого элемента в целом по области оставаясь стабильным за период исследований. Поступление кадмия в анализируемые образцы молока не превышает предельно допустимые нормы. Максимальный его показатель в Тобольском районе составил 0,02 мг/кг. Содержание ртути в молоке коров колеблется в пределах от 0,002 до 0,005 мг/кг и не превышает предельно допустимых концентраций. Содержание тяжелых металлов в мышечной ткани свинины представлено в табл. 4.

**Содержание тяжелых металлов в мышечной ткани свинины в административных районах юга Тюменской области**

Район	Элемент, мг/кг			
	Свинец	Мышьяк	Кадмий	Ртуть
Тюменский	0,1674±0,0251	0,0405±0,0061	0,0226±0,0034	0,0048±0,0012
Исетский	0,1837±0,0276	0,0432±0,0065	0,0256±0,0038	0,0036±0,0009
Ярковский	0,2227±0,0334	0,0358±0,0052	0,0403±0,0060	0,0172±0,0043
Голышмановский	0,0896±0,0134	0,0207±0,0031	0,0201±0,0030	0,0051±0,0013
Тобольский	0,4334±0,0650	0,0574±0,0086	0,0147±0,0022	0,0056±0,0014
Абатский	0,2187±0,0328	0,0426±0,0064	0,0100±0,0015	0,0036±0,0008
Нижнетавдинский	0,1515±0,0227	0,0354±0,0053	0,0156±0,0023	0,0036±0,0009
Викуловский	0,2425±0,0364	0,0343±0,0051	0,0176±0,0026	0,0046±0,0012
Омутинский	0,1967±0,0295	0,0309±0,0046	0,0207±0,0031	0,0029±0,0007
Ялуторовский	0,1935±0,0290	0,0189±0,0028	0,0325±0,0049	0,0095±0,0024
Заводоуковский	0,1010±0,0152	0,0198±0,0030	0,0380±0,0057	0,0059±0,0015
В среднем	0,2001±0,0300	0,0345±0,0052	0,0234±0,0035	0,0060±0,0015
ПДК, мг/кг	0,5	0,1	0,05	0,03

Содержание свинца в мышечной ткани не превышало установленных норм, максимальное его значение наблюдалось в Тобольском районе и составило 0,4334 мг/кг. Концентрация мышьяка находилась в интервале 0,0189–0,0574 мг/кг и не превышала предельно допустимых концентраций.

При изучении динамики накопления кадмия в мышечной ткани свиней следует отметить, что самый высокий показатель содержания элемента в мясе был зафиксирован в Ярковском районе (0,0403 мг/кг). Концентрация ртути в образцах мяса позволяет констатировать, что продукция, производимая в различных районах юга Тюменской области, отвечает установленным нормативам.

Концентрацию металлов в мышечной ткани животных и молоке Тюменской области по убыванию можно расположить в следующей последовательности: для мышечной ткани – Pb > As > Cd > Hg; молока – Pb > As > Cd > Hg.

Коэффициент загрязнения тяжелыми металлами мясной продукции образует следующий убывающий ряд: молоко (2,34) > мясо свиней (1,4) > мясо говядины (1,26).

**Заключение.** В почвах сельскохозяйственной зоны Тюменской области отмечается дефицит цинка и в меньшей степени меди. Загрязнение почв свинцом и кадмием отсутствует. Зерновые культуры, выращиваемые в Тюменской области, по экологическим и санитарно-гигиеническим нормам содержания тяжелых металлов отвечают принятым требованиям независимо от уровня химизации хозяйств за последние четыре десятилетия. Накопление тяжелых металлов в мышечной ткани свиней, крупного рогатого скота, а также в молоке, не вызывает опасений в качестве использования их для питания человеком и полностью соответствует установленным требованиям.

### Литература

1. Ильязов Р.Г., Шакиров Ф.Х., Пристер Б.С. Адаптация агроэкосферы к условиям техногенеза / под ред. Р.Г. Ильязова. – Казань: Фэн, 2006. – 664 с.
2. Соколов О.А., Черников В.А. Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Кн. 1. Атлас распределения тяжёлых металлов в объектах окружающей среды. – М.: Пушино, 1999. – 164 с.

