



Science Arts & Métiers (SAM)

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers Institute of Technology researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <https://sam.ensam.eu>
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/19120>

To cite this version :

Alexandra BELYANOVSKAYA, Natalia BARANOVSKAYA, Bertrand LARATTE, Nicolas PERRY - Specifications of a chemical composition of the digestive system of *Sus scrofa domesticus* under technological environmental impact - Bulletin of ZabGU - Vol. 25, n°7, p.9 - 2019

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : scienceouverte@ensam.eu



ОСОБЕННОСТИ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ SUS SCROFA DOMESTICUS В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА

SPECIFICATIONS OF A CHEMICAL COMPOSITION OF THE DIGESTIVE SYSTEM OF SUS SCROFA DOMESTICUS UNDER TECHNOLOGICAL ENVIRONMENTAL IMPACT



А. И. Беляновская,
Томский политехнический
университет, г. Томск
alexandra.belyanovskaya@ensam.eu



Н. В. Барановская,
Томский политехнический
университет, г. Томск
nata@tpu.ru



Б. Ларатт,
Национальная высшая школа
искусств и ремёсел, г. Бордо
bertrand.laratte@u-bordeaux.fr



Н. Перри,
Национальная высшая школа
искусств и ремёсел, г. Бордо
nicolas.perry@u-bordeaux.fr

A. Belyanovskaya,
Tomsk Polytechnic University,
Tomsk

N. Baranovskaya,
Tomsk Polytechnic University,
Tomsk

B. Laratte,
National Higher School of Arts
and Crafts, Bordeaux

N. Perry,
National Higher School of Arts
and Crafts, Bordeaux

Актуальность работы определяется необходимостью расширения знаний об особенностях концентрирования и распределения химических элементов в органах и тканях млекопитающих как индикаторов потенциального негативного воздействия на здоровье населения. Рассматривается влияние техногенного воздействия окружающей среды на формирование элементного состава организма млекопитающего на примере органов и тканей свиньи домашней (*Sus scrofa Domestica*), отобранных на территории города Экибастуза Павлодарской области Республики Казахстан. Изучаются закономерности концентрирования химических элементов в пищеварительной системе в целом и отдельных её компонентах, в частности. Особо отмечается аккумуляция As, Br в ротоглотке, Lu в желудке, Rb, U в тонком кишечнике, Sb в толстом кишечнике, Au, Ag в прямом кишечнике. Доказано, что пищеварительная система свиньи домашней реагирует на антропогенное воздействие, образуя мощные биохимические барьеры. Концентрация химических элементов меняется в зависимости от участка желудочно-кишечного тракта, по мере изменения кислотно-щелочного баланса и в зависимости от физиологической функции исследованных органов. Доказано, что характер промышленного воздействия находит отражение в химическом составе биологических материалов свиньи домашней. Органы желудочно-кишечного тракта активно накапливают тяжёлые, редкоземельные (Lu, Ce, La), радиоактивные металлы (Th, U) и мышьяк. Химическая близость организма свиньи домашней к человеческому и аналогия поведения химических элементов в организмах млекопитающих в целом дают основание предполагать, что выявленные закономерности могут быть отнесены и к человеку, однако данное предположение требует дальнейшей доработки

Ключевые слова: радиоактивные элементы; редкоземельные элементы; инструментальный нейтронно-активационный анализ; техногенез; живое вещество; геохимические барьеры; свинья домашняя *Sus Scrofa Domestica*; геохимия живого вещества; добывающая промышленность; город Экибастуз

The relevance of the work is determined by the need to expand knowledge about the characteristics of the concentration and distribution of chemical elements in the organs and tissues of mammals, as indicators of the potential negative impact on the health of the population. The article discusses the influence of anthropogenic environmental impact on the formation of the elemental composition of a mammalian organism on the example of the domestic pig organs and tissues (*Sus scrofa Domestica*) sampled in the city of Ekibastuz, Pavlodar region of the Republic of Kazakhstan. The article studies the laws of concentration of chemical elements in the digestive system as a whole and its individual components. The accumulation of As, Br, in the oropharynx, Lu in the stomach, Rb, U in the small intestine, Sb in the large intestine, Au, Ag in the rectum is especially noted. It is proved that the digestive system of a domestic pig reacts to human impact, forming powerful biochemical barriers. The concentration of chemical elements varies depending on the part of the gastrointestinal tract, as the acid-base balance changes and depending on the physiological function of the organs studied. It has been proven that the nature of industrial exposure is reflected in the chemical composition of domestic pig biological materials. The organs of the gastrointestinal tract actively accumulate heavy, rare-earth (Lu, Ce, La), radioactive metals (Th, U) and arsenic. The chemical affinity of a domestic pig organism composition to a human and the analogy of the behavior of chemical elements in mammals in general suggests that current tendencies can be attributed to humans, however this assumption requires further refinement

Key words: radioactive elements; rare earth elements; instrumental neutron-activation analysis; technogenesis; living matter; geochemical barriers; domestic pig *Sus Scrofa Domestica*; geochemistry of living matter; mining industry; Ekibastuz city

Введение. Преобразование компонентов окружающей среды в ходе техногенеза, обусловленное бурным развитием промышленности, сформировало центральную проблему современной экологии – проблему загрязнения окружающей среды. Техногенез, как процесс, неотрывно связанный с человеческой деятельностью, определяется совокупностью геохимических и геофизических процессов. Одним из главных его аспектов является рассеяние вовлечённых в техногенез элементов в окружающей среде и их последующее избыточное поступление, примером которого служат выбросы в атмосферу продуктов сгорания, загрязнение почв и водоёмов промышленными стоками. Данное воздействие является преимущественно негативным и изменяет естественные природные сообщества и организмы. В результате чего организмы вынуждены адаптироваться к негативному воздействию, формируя защитные механизмы, так называемые биогеохимические барьеры, которые образуются под влиянием факторов внутренней среды и химических свойств элементов и отражают собой их воздействие [4].

В повышенном концентрировании потенциально опасных веществ в своих тканях с наблюдающейся после сменой биогеохимической обстановки заключается функция биогеохимических барьеров организма. Среди существующих барьерных систем организма особо выделяются слизистые оболочки желудочно-кишечного тракта

и носоглотки. Желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) как зона наиболее активного всасывания химических элементов является ярким примером барьерных функций организма. Высокое накопление химических элементов в органах пищеварительной системы, как правило, говорит о постоянном поступлении химического элемента извне, что может меняться в зависимости от потреблённого корма, питьевой воды, загрязнения и состава почвы, которые в свою очередь зависят от географического происхождения [10]. Концентрация металлов в организме животных и людей зависит не только от типа питания [14], физиологической функции органов и тканей [5] и генетических характеристик организма, но и от антропогенной нагрузки места проживания организма [6]. Таким образом, изучение концентраций химических элементов в организме свиньи является показательным для оценки антропогенного воздействия или исследований естественных аномалий в регионе. Химический состав органов и тканей свиньи домашней активно исследуется не только как более доступный, чем неорганические продукты, источник микроэлементов [12], но и как индикатор антропогенного преобразования окружающей среды [8] и как модель человеческого организма [9; 11]. При оценке антропогенного воздействия на живой организм органы и ткани свиньи домашней имеют значительное преимущество как биоиндикатор в связи с простотой отбора проб и дальнейшей возможностью экстра-

поляции полученных результатов на организм человека.

Методология и методика исследования.

Для данного экспериментального исследования пробы органов и тканей выбрана особь свиньи женского пола возрастом около 6 месяцев. Для исследования выбраны органы каждого отдела кишечного тракта: 8 проб тонкого, 4 пробы толстого, 6 проб прямого кишечника, также отобраны образцы желудка и глотки (всего проанализировано 20 проб). Глотка включена в изучение желудочно-кишечного тракта в связи с анатомическим составом выстилающей её слизистой ткани, образующей и ЖКТ, и носоглотку. Она исследована как зона поступления не только воды и пищевых масс, но и воздуха. Органы и ткани отбирались сразу после забоя животного. Каждая проба массой 100 г упаковывалась в пластиковые пакеты, после чего замораживалась. Кровь отбиралась из аорты в пробирку Эппендорфа сразу после забоя животного и также подвергалась заморозке.

В качестве метода исследования выбран современный высокочувствительный и неdestructивный вид анализа: инструментальный нейтронно-активационный (ИНАА), позволивший определить содержание 28 химических элементов. Химический анализ проб методом ИНАА проводился на Томском исследовательском ядерном реакторе «ИРТ-Т» в 2017 г. (аттестат аккредитации RA.RU.21AБ27 от 08.04.2015); аналитики – ст. науч. сотрудники А. Ф. Судыко и Л. Ф. Богутская. Статистический анализ полученных результатов проводился в программах Excel, Statistica 8. Рассчитаны такие показатели, как среднее арифметическое, максимум и минимум, стандартная ошибка. Коэффициент концентрации вычислялся как отношение содержания элемента в плаценте (С) к среднему содержанию элемента во всей выборке (C_{cp}). По полученным показателям коэффициента концентрации (при $K_k > 1$) составлялись геохимические ряды в порядке убывания значений.

Исследуемая территория. Город Экибастуз является актуальным примером зоны интенсивного антропогенного воздействия промышленных предприятий на окружающую среду. Павлодарская область – один из крупных индустриальных центров Республики Казахстан. По данным доклада о состоянии природной среды Республики Казах-

стан на долю города Экибастуз приходится 48 % выбросов в атмосферный воздух. На территории Павлодарской области сосредоточены предприятия машиностроения, металлообработки, химической и лёгкой промышленности, а также производства строительных материалов. Экибастуз характеризуется напряжённой экологической обстановкой в связи с широко развитой добывающей промышленностью (добыча угля) в непосредственной близости от городской зоны [3]. Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха на территории города являются тепловые электростанции, добыча угля [2]. В результате добычи угля происходит загрязнение компонентов экосистем техногенными веществами, такими как уголь, зола, пыль. На территории г. Экибастуз находятся крупные ТЭЦ, которые работают на экибастузском (местный), карагандинском и кузнецком (привозном) угле и мазуте.

Результаты исследования и их обсуждения. В рамках исследования проанализировано 6 органов, входящих в состав пищеварительной системы свиньи домашней. Изучено изменение химического состава пищеварительной системы в разных отделах желудочно-кишечного тракта. Из рис. 2 видно, что наибольшее содержание химических элементов отмечается в тканях толстого кишечника, также интерес вызывают определённые исключения.

Как уже отмечалось, всасывание большинства химических элементов происходит в стенках толстого кишечника, в то время как ткани желудка концентрируют наименьшее количество химических элементов. Такие элементы, как Na, Ca, Sr преимущественно накапливаются в тканях кольцевидного хряща гортани, что связано с биологическими особенностями строения хрящевой ткани. Rb и U концентрируются преимущественно в тканях тонкого кишечника. Аналогичное накопление Rb тканями тонкого кишечника по сравнению с другими органами желудочно-кишечного тракта ранее наблюдалось по результатам эксперимента, проведённого Отделом радиологического здоровья, Института общественного здравоохранения, г. Токио [13]. Предыдущие исследования желудочно-кишечного тракта свиньи домашней на территории Томской области [1] не выявили значительных различий в содержаниях U в компонентах желудочно-кишечного тракта,

однако тонкий кишечник и прямая кишка отличаются высокими содержаниями Rb.

Изменения в концентрациях химических элементов в зависимости от типа исследуемой ткани можно увидеть на примере таких химических элементов, как Ag, Au, Br, As (рис. 2). Изменения их концентраций мо-

жет отражать пути поступления, миграции и выведения. Так, концентрирование Br, As в глотке, которая является соединительным звеном между носовой и ротовой частью организма, может свидетельствовать о поступлении названных элементов с воздухом.

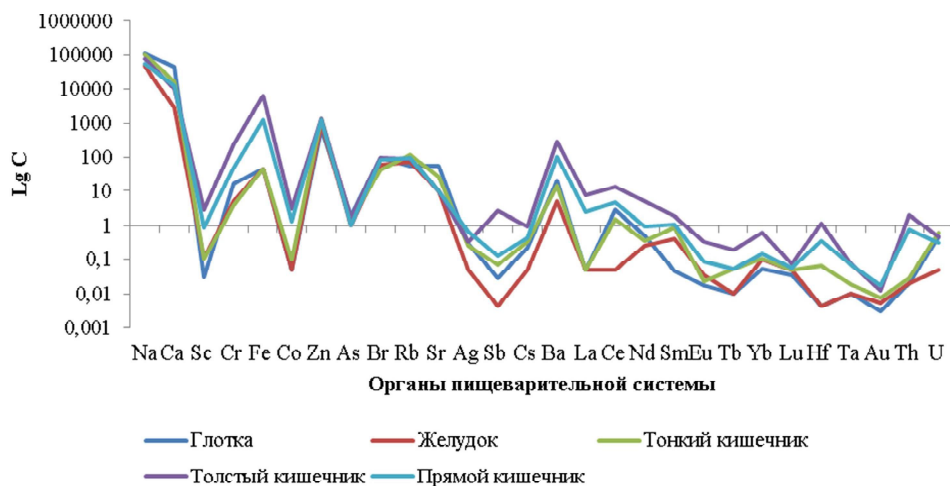


Рис. 1. Распределение химических элементов в пищеварительной системе свиньи домашней на территории г. Экибастуз, мг/кг / Fig. 1. The chemical elements distribution in the digestive system of *Sus scrofa domesticus* on the territory of Ekibastuz city, mg/kg

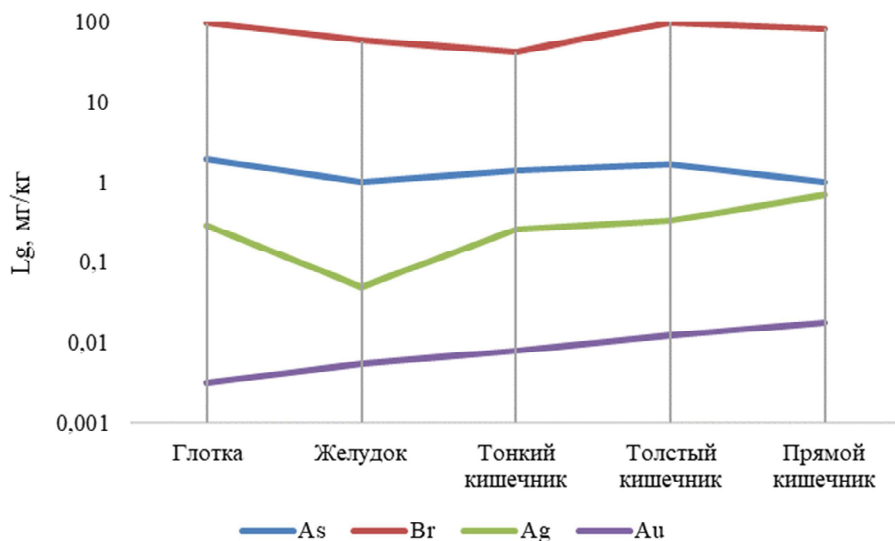


Рис. 2. Распределение Ag, Au, Br, As в пищеварительной системе свиньи домашней на территории г. Экибастуз, Lg (мг/кг) / Fig. 2. The distribution of chemical elements (Ag, Au, Br, As) in the digestive system of *Sus scrofa domesticus* in the territory of Ekibastuz, Lg (mg/kg)

По мере прохождения через желудочно-кишечный тракт, содержание Au в тканях компонентов пищеварительной системы постепенно увеличивается от глотки до кишечника и достигает максимума в прямой кишке. Аналогичная ситуация наблюдается при детальном рассмотрении содержания Ag, однако в отличие от Au, минимально накапливающегося в области глотки, Ag достигает минимума в тканях желудка. Можно предположить, что Au, Ag как инертные металлы не вступают в химические реакции по мере прохождения

кишечного тракта, а выделяются вместе с каловыми массами.

В ходе исследования отмечено, что элементы с разной валентностью концентрируются в разных отделах желудочно-кишечного тракта в зависимости от pH среды (рис. 3). Так, элементы с постоянной валентностью на примере Rb и другие щелочноземельные и щелочные элементы, такие как Ca, Na, Sr, концентрируются в большей степени в частях желудочно-кишечного тракта, имеющих высокий водородный показатель, коррелируя с изменением pH.

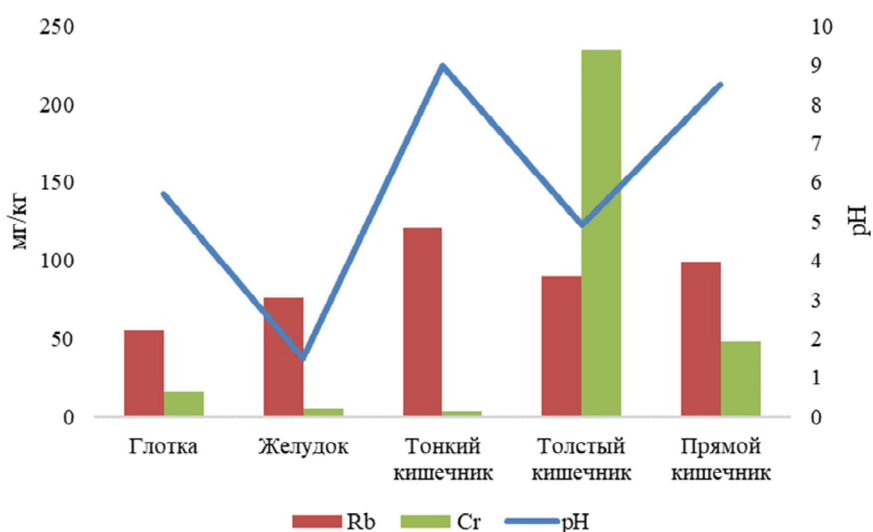


Рис. 3. Распределение химических элементов с постоянной (Rb) и переменной (Cr) валентностью в пищеварительной системе свиньи домашней на территории г. Экибастуз, мг/кг / Fig. 3. The distribution of chemical elements with variable (Rb) and constant (Cr) valence in the digestive system of the *sus scrofa domesticus* in the city of Ekibastuz, mg/kg

Элементы же с переменной валентностью проявляют обратную зависимость. Так, на участках желудочного тракта с самым высоким показателем pH (тонкий кишечник) отмечается минимальный коэффициент концентрации таких элементов с переменной валентностью как Cr, и аналогично для Fe, Co, Yb. Максимальные коэффициенты концентрации этих элементов обнаруживаются в тканях толстого и прямого кишечника. На примере названных элементов можно отметить влияние такого биологического барьера, как резкое изменение водородного показателя на концентрирование элементов различных химических групп.

Другим показательным инструментом при изучении миграции элементов внутри

изучаемой системы органов является построение биогеохимических рядов. В ходе исследования изучены ткани желудочно-кишечного тракта каждого отдела кишечника, исследованы первые и последние 100 см каждой части, как части системы, отвечающие за введение и выведение элементов из органа и организма в целом (см. таблицу).

Биогеохимические ряды, представленные в таблице, наглядно показывают, какие элементы накапливаются в пищеварительной системе и в какой её части. Такие химические элементы, как Sr и Ca накапливаются в ротоглотке, что может быть связано с хрящевым строением данного органа. Накопление As, Br может быть связано с поступлением данных элементов преимущественно

воздушным путём. В накоплении мышьяка может иметь значение образ жизни исследуемого животного. В связи с тем, что свиньи часто роют землю, не исключается факт проглатывания частиц почвы, и

как следствие — поступление элементов из загрязнённой почвы. Согласно данным, представленным в статье Ж. Х. Сембаева, содержание мышьяка в среднем в почвах г. Экибастуз превышает 0,5 ПДК [3].

Специфика накопления элементов в желудочно-кишечном тракте свиньи домашней Павлодарской области относительно среднего содержания в организме / Specificity of elements accumulation in the digestive tract of the sus scrofa domesticus in the Pavlodar region relative to the average content in the body

Орган/Organ	Расстояние, см / Distance	Ряд концентрации элементов / Concentration ranking
Глотка/Pharynx	-	Sr _{2,0} -Ca _{1,6} -As _{1,4} -Na _{1,1} -Br _{1,1} -U _{1,1}
Желудок/Stomach	-	Lu _{1,05}
Тонкий кишечник/ Small intestine	100	Sr _{1,6} -Rb _{1,3} -Lu _{1,2} -Na _{1,7} -Zn _{1,0}
	200	U _{1,9} -Rb _{1,3} -Zn _{1,2} -As _{1,2} -Tb _{1,0} -Na _{1,0} -Sm _{1,0} -Cs _{1,0}
Толстый кишечник/Colon	300	Sb _{10,8} -La _{5,5} -Hf _{5,2} -Th _{5,1} -Sc _{5,1} -Ba _{5,0} -Eu _{5,0} -Tb _{4,7} -Yb _{4,4} -Co _{3,8} -Ce _{3,2} -Cs _{2,8} -Fe _{2,7} -Lu _{2,5} -Ta _{2,3} - Sm _{2,0} -As _{1,7} -Br _{1,2} -Zn _{1,2} -U _{1,1} -Rb _{1,1}
	400	Sb _{10,9} -Cr _{9,2} -Nd _{8,2} -La _{4,9} -Sc _{4,8} -Co _{4,8} -Ba _{4,8} -Hf _{4,5} -Eu _{4,2} -Tb _{4,1} -Th _{4,0} -Yb _{3,0} -Ce _{2,9} -Fe _{2,8} -Ta _{2,3} - Cs _{2,0} -U _{1,7} -Zn _{1,4} -Br _{1,1} -Lu _{1,0} -Rb _{1,0}
Прямая кишка/ Rectum	500	Hf _{2,5} -Sc _{2,4} -Co _{2,4} -Ba _{2,3} -Ta _{2,0} -Ag _{1,9} -Th _{1,9} -Nd _{1,7} -La _{1,7} -Eu _{1,6} -Au _{1,6} -Ce _{1,5} -Sm _{1,3} -Zn _{1,2} -Rb _{1,2} - Cs _{1,1} -Lu _{1,1} -Tb _{1,0}
	600	La _{1,9} -Th _{1,9} -Co _{1,6} -Ta _{1,2} -Lu _{1,2} -Cs _{1,2} -Cr _{1,2} -Sc _{1,1} -Ce _{1,1} -Ba _{1,1} -Yb _{1,1} -U _{1,0} -Eu _{1,0} -Sm _{1,0} -Br _{1,0}

Сравнение биогеохимических рядов показывает, что каждый отдел кишечного тракта проявляет свои индивидуальные особенности, концентрируя специфичные элементы. Зоной наиболее активного поглощения практически всех химических элементов остаётся толстый кишечник. В тканях же тонкого кишечника обнаруживается максимальный коэффициент концентрации U во всей выборке. Отличительной особенностью прямого кишечника является высокий коэффициент концентрации Hf, Sc, Co, Ba (Cc>2) в верхнем отделе и La, Th, Co — в нижнем (Cc>1,5). Стенки прямого кишечника активно концентрируют благородные металлы (Au и Ag), а также редкоземельные элементы (La, Sm, Eu, Lu), из всей выборки коэффициент концентрации этих металлов превышает единицу лишь в пробах прямого кишечника, что может объясняться их низкой физиологической активностью.

Представленная таблица показывает, что U способен накапливаться практически во всех изученных компонентах пищеварительной системы, за исключением желудка,

и достигает максимальной концентрации в первых 100 м тонкого кишечника. Следует отметить накопление Th тканями толстого и прямого кишечника и низкое концентрирование этого металла в других изученных тканях пищеварительной системы. Более детальное рассмотрение содержания Th, U в тканях кишечного тракта подтверждает отмеченные ранее закономерности накопления данных элементов и более наглядно показывает специфику их распределения.

Диаграммы демонстрируют, что концентрация тория остаётся минимальной в тонком кишечнике, затем резко увеличивается в толстом кишечнике, снижается в прямом, и практически не меняется после. Основной функцией толстого кишечника является всасывание воды и электролитов, и факт концентрирования тория именно этим отделом кишечного тракта позволяет нам предположить, что данный металл поступает в организм в водорастворимой форме, и последовательно всасывается стенками кишечника образуя биохимический барьер, препятствующий проникновению данного элемента в

кровь. У преимущественно накапливается в верхнем отделе тонкого кишечника, концентрация данного металла в кишечном тракте более равномерна, однако она резко снижается от тонкого кишечника к верхнему отделу прямого кишечника и постепенно повышается в нижнем отделе. Поступающие в организм соединения урана безбарьерно проникают в кровь сквозь стенки тонкого кишечника, так как тонкий кишечник является основной зоной всасывания продуктов пищеварения,

большинства перорально введённых лекарственных веществ, ядов и токсинов в кровеносные и лимфатические капилляры [7]. Изменение коэффициентов концентрации Th, U хорошо отражает смену внутренней среды организма, а именно водородного показателя (рис. 4). Таким образом, кислотность среды является ещё одним фактором, оказывающим воздействие на распределение химических элементов в желудочно-кишечном тракте свиньи домашней.

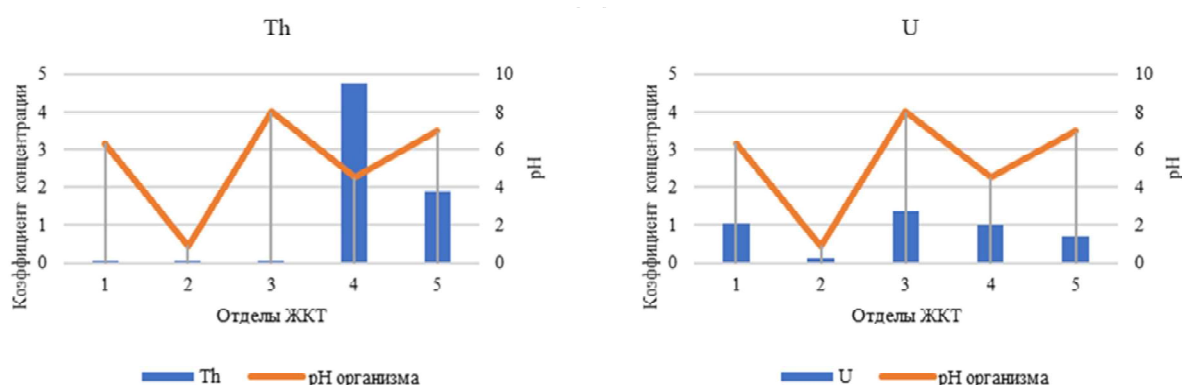


Рис. 4. Коэффициент концентрации Th, U в тканях кишечника свиньи домашней: 1 – глотка; 2 – желудок; 3 – тонкий кишечник; 4 – толстый кишечник; 5 – прямая кишка / Fig. 4. The concentration ratio of Th, U in the intestinal tissues of the pig Note: 1 – pharynx; 2 – stomach; 3 – small intestine; 4 – colon; 5 – rectum

Выводы. Результаты проведённого исследования показывают, что пищеварительная система свиньи домашней реагирует на антропогенное воздействие, образуя мощные биохимические барьеры. Концентрация химических элементов меняется в зависимости от участка желудочно-кишечного тракта, по мере изменения кислотно-щелочного баланса и в зависимости от физиологической функции исследованных органов. Ярким примером является повышенное концентрирование химических элементов тканями толстого кишечника, как зоны всасывания воды и электролитов, препятствующее чрезмерному попаданию металлов в кровь. Барьерную функцию толстого кишечника подтверждает факт концентрирования его тканями 21 из 28 изученных химических элементов. Мышьяк и бром, как летучие токсичные элементы, поступающие в организм преимущественно через органы дыхания, концентрируются в тканях глотки. В общем, наблюдается тен-

денция увеличения количества концентрируемых элементов по мере прохождения кишечного тракта, что может отражать пути их выведения из организма вместе с калом. Схожие процессы ранее отмечены в работах Н. В. Барановской при изучении элементного состава тканей свиньи домашней, выращенной в условиях разной техногенной нагрузки. Характер промышленного воздействия находит своё отражение в химическом составе биологических материалов свиньи домашней. Органы желудочно-кишечного тракта активно накапливают тяжёлые, редкоземельные, радиоактивные металлы и мышьяк. Химическая близость организма свиньи домашней к человеческому и аналогия поведения химических элементов в организмах млекопитающих в целом дают основание предполагать, что выявленные закономерности могут быть отнесены и к человеку, однако данное предположение требует дальнейшей доработки.

Список литературы

1. Барановская Н. В., Рихванов Л. П. Элементный состав органов и тканей домашних животных (*Sus scrofa domestica* (Artiodactyla, Mammalia)) как индикатор состояния среды обитания // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2011. № 3. С. 78–84.
2. Русина Е. Ю. Техногенная трансформация растительности на территории экибастузского угольного бассейна // Научное сообщество студентов XXI столетия. Естественные науки: материалы XXXI международной студенческой научно-практической конференции. Новосибирск, 2018.
3. Сембаев Ж. Х. Экологическая характеристика состояния окружающей среды г. Экибастуз // Вестник Казанского Национального медицинского университета. 2014. № 3. С. 225–230.
4. Baranovskaya N., Belyanovskaya A., Bezel V., Mukhacheva S., Anufrieva, M. Chemical composition of the small mammal reproductive system as an indicator of enterprise technogenic impact on the environment // IOP Conference. Series Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 43.
5. Carpenè E., Andreani G., Isan G. A 40-year experience // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology Trace elements in unconventional animals. 2017. No. 43. P. 169–179.
6. Durkalec M., Nawrocka A., Krzysiak M., Larska M., Kmiecik M., Posyniak A. Trace elements in the liver of captive and free-ranging European bison (*Bison bonasus* L.) // Chemosphere. 2018. No. 193. P. 454–463.
7. Gastroscan. URL: <http://www.gastroscan.ru/handbook/117/406> (дата обращения: 09.03.2019). Текст: электронный.
8. Huang L., Chen T., Xiuwen H., Yang H., Wang C., Liu M., Yao M. Determination of heavy metal chromium in pork by laser-induced breakdown spectroscopy // Journal of the Optical Society of America. 2017. Vol. 56. pp. 24–28.
9. Meurens F., Summerfield A., Nauwynck H., Saif L., Gerdts V. The pig: a model for human infectious diseases // Trends Microbiol. 2012. No. 20. P. 50–57.
10. Park Y. M., Lee C. M., Hong J. H., Jamila N., Khan N., Jung J. H., Jung Y. C., Kim K. S. Origin discrimination of defatted pork via trace elements profiling, stable isotope ratios analysis, and multivariate statistical techniques // Meat Science. 2018. No. 143. P. 93–103.
11. Pu Y., Tang F., Adam P. M., Laratte B., Ionescu R. E. Fate and characterization factors of nanoparticles in seventeen subcontinental freshwaters: a case study on copper nanoparticles // Environmental Science Technology. 2016. No. 50. P. 9370–9379.
12. Wang M. Q., Wang C., Du Y. J., Li H., Tao W. J., Ye S. S., He Y. D., Chen S. Y. Effects of chromium-loaded chitosan nanoparticles on growth, carcass characteristics, pork quality, and lipid metabolism in finishing pigs // Livestock Science. 2014. No. 161. P. 123–129.
13. Yamagata N. The Concentration of Common Cesium and Rubidium in Human Body // Journal of Radiation Research. 1962. No. 3. P. 21.
14. Zhao Y., Wang D., Yang S. Effect of organic and conventional rearing system on the mineral content of pork // Meat Science. 2016. No. 118. P. 103–107.

References

1. Baranovskaya N. V., Rikhvanov L. P. *Problemy biogeokhimii i geokhicheskoy ekologii* (Problems of Biogeochemistry and Geochemical Ecology), 2011, no. 3, pp. 78–84.
2. Rusina E. Yu. *Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya. Estestvennye nauki: materialy XXXI mezhdunarodnoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Scientific community of students of the XXI century. Natural sciences: materials of the XXXI international student scientific-practical conference). Novosibirsk, 2018.
3. Sembaev J. Kh. *Vestnik Kazanskogo Natsionalnogo meditsinskogo universiteta* (Bulletin of the Kazan National Medical University), 2014, no. 3, pp. 225–230.
4. Baranovskaya N., Belyanovskaya A., Bezel V., Mukhacheva S., Anufrieva M. *IOP Conference. Series Earth and Environmental Science* (IOP Conference. Series Earth and Environmental Science), 2016, vol. 43.
5. Carpenè E., Andreani G., Isan G. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology Trace elements in unconventional animals* (Journal of Trace Elements in Medicine and Biology Trace elements in unconventional animals), 2017, no. 43, pp. 169–179.
6. Durkalec M., Nawrocka A., Krzysiak M., Larska M., Kmiecik M., Posyniak A. *Chemosphere* (Chemosphere), 2018, no. 193, pp. 454–463.
7. *Gastroscan* (Gastroscan). URL: <http://www.gastroscan.ru/handbook/117/406> (Date of access 09.03.2019). Text: electronic.
8. Huang L., Chen T., Xiuwen H., Yang H., Wang C., Liu M., Yao M. *Journal of the Optical Society of America* (Journal of the Optical Society of America), 2017, vol. 56, pp. 24–28.

9. Meurens F., Summerfield A., Nauwynck H., Saif L., Gerdts V. *Trends Microbiol* (Trends Microbiol), 2012, no. 20, pp. 50–57.
10. Park Y. M., Lee C. M., Hong J. H., Jamila N., Khan N., Jung J. H., Jung Y. C., Kim K. S. *Meat Science* (Meat Science), 2018, no. 143, pp. 93–103.
11. Pu Y., Tang F., Adam P. M., Laratte B., Ionescu R. E. *Environmental Science Technology* (Environmental Science Technology), 2016, no. 50, pp. 9370–9379.
12. Wang M. Q., Wang C., Du Y. J., Li H., Tao W. J., Ye S. S., He Y. D., Chen S. Y. *Livest. Science* (Livest. Science), 2014, no. 161, pp. 123–129.
13. Yamagata N. J. *Journal of Radiation Research* (Journal of Radiation Research), 1962, no. 3, pp. 21.
14. Zhao Y., Wang D., Yang S. *Meat Science* (Meat Science), 2016, no. 118, pp. 103–107.

Коротко об авторах

Беляновская Александра Игоревна, аспирант, Томский политехнический университет, г. Томск, Россия; Национальная высшая школа искусств и ремёсел, г. Бордо, Франция. Область научных интересов: геохимия живого вещества, экотоксикология
alexandra.belyanovskaya@ensam.eu

Барановская Наталья Владимировна, д-р биол. наук, доцент, профессор Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета, г. Томск, Россия. Область научных интересов: геохимия живого вещества, экотоксикология
nata@tpu.ru

Ларатт Бертран, доцент Национальной высшей школы искусств и ремёсел, г. Бордо, Франция. Область научных интересов: геохимия живого вещества, экотоксикология
bertrand.laratte@u-bordeaux.fr

Перри Николя, профессор Национальной высшей школы искусств и ремёсел, г. Бордо, Франция. Область научных интересов: геохимия живого вещества, экотоксикология
nicolas.perry@u-bordeaux.fr

Briefly about the authors

Alexandra Belyanovskaya, postgraduate, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia; student, National Higher School of Arts and Crafts Bordeaux France (Arts et Metiers ParisTech, Bordeaux). Sphere of scientific interests: geochemistry of living matter, ecotoxicology

Natalya Baranovskaya, doctor of biological sciences, associate professor, professor of the Engineering School of Natural Resources of Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia. Sphere of scientific interests: geochemistry of living matter, ecotoxicology

Bertrand Laratte, associate professor, National Higher School of Arts and Crafts of Bordeaux France (Arts et Metiers ParisTech, Bordeaux). Sphere of scientific interests: geochemistry of living matter, ecotoxicology

Nicolas Perry, professor, National Higher School of Arts and Crafts in Bordeaux France (Arts et Metiers ParisTech, Bordeaux). Sphere of scientific interests: geochemistry of living matter, ecotoxicology

Образец цитирования

Беляновская А. И., Барановская Н. В., Ларат Б., Перри Н. Особенности концентрирования химических элементов в пищеварительной системе *sus scrofa domesticus* в условиях техногенеза // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25. № 7. С. 18–26. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-7-18-26.

Belyanovskaya A., Baranovskaya N., Larat B., Perry N. Specifications of a chemical composition of the digestive system of *sus scrofa domesticus* under technological environmental impact // Transbaikal State University Journal, 2019, vol. 25, no. 7, pp. 18–26. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-7-18-26.