

УДК 577.1

## ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ВОДЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ КАК ИНДИКАТОР ТЕХНОГЕНЕЗА

Рихванов Леонид Петрович<sup>1</sup>,  
rikhvanov@tpu.ru

Барановская Наталья Владимировна<sup>1</sup>,  
nata@tpu.ru

Корогод Наталья Петровна<sup>2</sup>,  
natalya\_korogod@mail.ru

Хвощевская Альбина Александровна<sup>1</sup>,  
unpc\_voda@mail.ru

Копылова Юлия Григорьевна<sup>1</sup>,  
unpc\_voda@mail.ru

Мазурова Ирина Сергеевна<sup>1</sup>,  
unpc\_voda@mail.ru

Муканова Роза Жумкеновна<sup>2</sup>,  
rozam14@mail.ru

Туркбенов Тимур Каиргалиевич<sup>2</sup>,  
turbenovtk@yandex.ru

Скрипник Мария Ивановна<sup>1</sup>,  
mtmmashulia@mail.ru

Беляновская Александра Игоревна<sup>1</sup>,  
aib28@tpu.ru

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

<sup>2</sup> Павлодарский государственный педагогический университет,  
Казахстан, 140000, г. Павлодар, ул. Мира, 60.

Техногенез – глобальный процесс, оказывающий влияние на все геосферные оболочки Земли. Индикация воздействия промышленных объектов проводится с применением комплекса методов, включая биогеохимические исследования и мониторинг. Для их организации требуется постоянное развитие и совершенствование как технических средств анализа, так и методических подходов, учеными всего мирового сообщества прикладываются усилия для поиска новых индикаторных объектов, наиболее адекватно отражающих техногенные последствия для окружающей среды и здоровья населения. В качестве такого индикатора можно применять воду. Вода обладает огромными экологическими функциями вообще и особыми функциями для живого организма, но, не смотря на значительную роль и длительную историю исследований, ее химический состав изучен слабо. На долю воды, относящейся по определению В.И. Вернадского к «воде биологической», приходится 0,0003 % ресурсов Земли. Однако именно изменение ее элементного состава является наиболее объективным показателем техногенной трансформации, происходящей под влиянием разнопрофильных промышленных объектов. Работы, показывающие фоновый химический состав этого ресурса, являются основой для организации мониторингового исследования на территориях интенсивного техногенного прессинга.

**Актуальность** исследования определяется отсутствием детальной изученности широкого круга химических элементов в составе отдельных органов и тканей живых организмов, в том числе воды, находящейся в них. Эта субстанция отражает химический состав среды обитания организма и может быть объектом мониторинга. Химическая близость организма свиньи домашней к человеку позволяет в дальнейшем получить новый инструмент по оценке качества мест проживания человека, при котором оценивается непосредственно организм в целом, что существенно повысит объективность исследований.

**Цель** работы заключается в исследовании химического состава воды биологической отдельных органов и тканей на примере свиньи домашней для получения фоновых характеристик для биогеохимического мониторинга.

**Методы.** Органы и ткани семимесячного поросенка были отобраны в пос. Успенка Павлодарской области (Казахстан) непосредственно во время забоя, после чего упаковывались в пластиковые пакеты. Вода биологическая выделялась способом вакуумной возгонки при нагревании. Извлеченная аликвота анализировалась в аккредитованном научно-образовательном центре «Вода» Национального исследовательского Томского политехнического университета методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой по аттестованной методике НСАМ 480Х на спектрометре NexION 300D.

**Результат.** Изучен состав и особенности распределения 70 химических элементов в воде биологической, выделенной методом вакуумной возгонки из органов и тканей свиньи домашней, отобранных на территории условно экологически благоприятного пос. Успенка Павлодарской области. Выявлена взаимосвязь между элементным составом биожидкости и физиологическими функциями органов исследуемых животных, а также составом среды обитания.

### Ключевые слова:

Техногенез, биогеохимия, вода биологическая, химические элементы, метод вакуумной возгонки, ICP-MS, геохимический индикатор, фоновый мониторинг.

### Введение

Процессы, связанные с деятельностью человека, уже значительно изменили и продолжают изменять геохимическую обстановку Земли. В результате техногенеза, развивающегося на территориях размещения промышленных объектов, а также в районах добычи, переработки полезных ископаемых, хранения и утилизации отходов, происхо-

дят процессы, значительно изменяющие химизм среды.

Для того, чтобы иметь объективную картину преобразований в геохимических циклах элементов, необходимы знания об их фоновых концентрациях. При организации мониторинговых исследований в районах действия техногенеза используют ряд методов и подходов, в том числе биогеохимиче-

ские исследования, включающие изучение элементного состава живых организмов и циклическую миграцию элементов с их участием. При этом зачастую используется либо озолненное, либо сухое вещество. В то же время следует отметить, что все живое состоит из воды, которая сама по себе является глобальным ресурсом планеты и прекрасным мониторинговым объектом.

Вода – это жизнь, а жизнь – это вода. Общеизвестный постулат о том, что живой организм любого уровня организации не существует без простейшего химического соединения  $H_2O$  – оксида водорода или просто воды. Это соединение обладает удивительными физическими и химическими свойствами в зависимости от условий своего нахождения в природе [1, 2]. Вода обладает огромными экологическими функциями вообще и особыми физиологическими функциями для живого организма [3], отражая в своем составе изменения внешней среды и состояния организма. Доказано, что в своем химическом составе кровь млекопитающих, как соединительная ткань, на 80 % состоящая из воды, влияет на микроэлементный состав органов вне зависимости от пола и возраста животного [4] и отражает степень проявленности техногенеза на территории проживания живых организмов [5]. Такие биологические жидкости, как плазма крови, спинномозговая жидкость, содержащие в своём составе большое количество воды, используются в качестве биомаркера при диагностировании ряда заболеваний, таких как инсульт, болезнь Шарко и др. [6–8].

На долю воды, находящейся в живых организмах, приходится 0,0003 % от объема гидросферы. Ее очень часто в литературе называют биологической водой (жидкостью), и ее содержание в живых организмах колеблется в весьма широком диапазоне: от 3 и менее % массы в костях до 92 % от живой массы в крови [9]. Общее количество воды в организме взрослого человека составляет 30–50 л, то есть около 60 % его массы при весе в 60–70 кг [3]. История изучения этого вопроса весьма впечатляющая. Роберт Питтс со ссылкой на работу Говарда Склтена [10], датируемую 1927 г., приводил данные о распределении воды в организме человека, весом 70 кг: жировая ткань – 10 %, скелет – 22 %, печень – 68,3 %, мышцы – 75,6 %, мозг – 74,8 %, кровь – 83,0 % [11]. Известно, что в трудах французских ученых вопрос о воде в организме растений и животных обсуждался уже в 1885 г. [12]. Количество воды в организме колеблется в зависимости от пола, возраста, физиологических показателей [13]. Следует отметить, что, не смотря на огромную физиологическую роль воды в организме человека и длительную историю исследований, ее химический состав изучен слабо, за исключением отдельных элементов, активно участвующих в электролитном обмене, – таких как натрий, кальций, хлор, калий и некоторые другие [14]. В специальной медицинской и биологической литературе можно встретить данные по этим и некоторым другим ионам, но их набор крайне ограни-

чен, даже для макроэлементов, не говоря уже о микро- и ультрамикроэлементах, физиологическая роль которых в живом организме, в том числе в организме человека, чрезвычайно велика [15, 16].

Такая же ситуация наблюдается для других живых организмов. В некоторых случаях изучен водный баланс отдельных представителей сельскохозяйственных животных, таких как куры, овцы, свиньи [17].

Известно, что общее содержание воды в теле животных колеблется от 50 до 80 % живой массы и изменяется с возрастом. У свиньи домашней, например, при рождении он равен 80 %, а в возрасте 90 дней – уже 46 %. Органы и ткани животных по содержанию в них воды делят на три группы: бедные водой (жировая, костная ткани), умеренно богатые (мышцы, печень, кровь) и очень богатые (серое вещество мозга, лимфа, эластичная ткань и др.). При этом, анализируя содержание химических элементов в жидкости, выделенной из отдельных органов и тканей, авторы, как правило, ограничиваются лишь некоторыми биологически значимыми химическими элементами, исключив из поля зрения огромное количество микроэлементов, роль которых может оказаться столь же значимой в физиологических процессах, каковой она оказалась, например, у кобальта.

Следует отметить, что химический состав вод гидросферы (морской, поверхностной, подземной, атмосферной, ледниковой и т. д.) достаточно хорошо изучен и она является объектом специального изучения, но вода биологическая находится вне рассмотрения как физиологов, за исключением ряда катионов и анионов (K, Na, Ca, Mg, Cl и ряда других), так и геохимиков, не желающих вторгаться в область биологической материи.

Междисциплинарность на стыке биологии и геохимии данного научного исследования, получившая, с лёгкой руки В.И. Вернадского, название биогеохимия или геохимия живого вещества, является её спецификой.

Практически полное отсутствие детальной информации по широкому кругу химических элементов в составе биологической воды (жидкости) отдельных органов и тканей, в целом живых организмов, в том числе растений, возможность использования новых индикаторных показателей для оценки качества среды их обитания, степени её трансформации и определяет актуальность данной статьи.

#### Материалы и методы

Авторы, приступая к изучению воды живых организмов, отдавали себе отчёт в том, что следовало решить два основных вопроса: вопрос о выборе модельного организма для исследования и способ отбора жидкости.

Для анализа количественного и качественного состава воды живого вещества как модельный вид был выбран организм свиньи домашней (*Sus Scrofa domestica* L.). Особенности формирования хими-

ческого состава тканей свиньи домашней (*S.S. domestica* L.) активно изучаются иностранными авторами [18–20]. Ранее проведенные нами исследования по содержанию химических элементов в сухом остатке органов и тканей данного вида показали практически полное их совпадение с данными по содержанию химических элементов в органах и тканях человека – жителя аналогичных территорий [21]. Организм этого животного, по мнению физиологов, является близким к человеческому.

Объектом для отбора жидкости из органов и тканей стал семимесячный поросенок, органы и ткани которого были отобраны сразу после забоя в пос. Успенском Павлодарской области Республики Казахстан. Данный поселок выбран как условно чистый район Павлодарской области, что подтверждается результатами эколого-геохимического мониторинга, проведенного нами ранее с использованием разных природных сред, таких как листья тополя, накипь питьевых вод и других.

Органы отбирались полностью, упаковывались в пластиковые пакеты и доставлялись в лабораторию в течение часа, где производилось их взвешивание. Мышцы и подкожный жир были отобраны с правого бедра в произвольном объеме, кровь отбиралась в стерильную пробирку из сонной артерии.

Для отбора жидкости из органов был использован способ вакуумной возгонки при нагревании. Данный метод предполагает частичное испарение жидкой смеси путем непрерывного отвода и конденсации образовавшихся паров. Для этого была собрана установка, показанная на рис. 1.

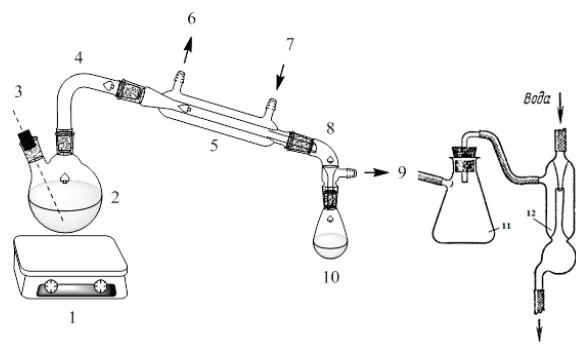


Рис. 1. Установка для возгонки воды из живой ткани: 1 – нагревательное устройство; 2 – колба круглодонная на 250 мл; 3 – капилляр стеклянный (для подачи воздуха); 4 – переходник; 5 – прямой холодильник; 6 – сброс холодной воды; 7 – подача холодной воды; 8 – аллонж с отводом; 9 – соединение с водоструйным насосом; 10 – приемник; 11 – промежуточная склянка Вульфа; 12 – водоструйный насос

Fig. 1. Installation for water sublimation from a living tissue: 1 is the heating device; 2 is the 250 ml round bottomed flask; 3 is the glass capillary; 4 is the reducing bush; 5 is the Liebig condenser; 6 is the cold water reset; 7 is the cold water supply; 8 is the side-arm adapter; 9 is the connector to the water-suction pump; 10 is the receiver; 11 is the Wolf's bottle; 12 is the water-suction pump

Перед каждым использованием все стеклянное оборудование тщательно промывалось, ополаски-

валось дистиллированной водой и сушилось при 250 °С в течение 4 часов в муфельной печи.

Температура перегонки составляла 100 °С, вакуум в системе находился на уровне 50–100 мм. рт. ст.

На всем этапе перегонки проводился временной контроль за началом и окончанием выделения жидкой фазы. По окончании эксперимента определялась масса дистиллята кубового остатка.

В выделенной жидкости в аккредитованном научно-образовательном центре «Вода» Национального исследовательского Томского политехнического университета (руководитель центра Ю.Г. Копылова) методом индуктивно-связанной плазмы по аттестованной методике НСАМ 480Х на спектрометре NexION 300D выполнено определение максимально возможного количества химических элементов – 70. Установлено, что из них 17 содержится ниже предела обнаружения данным методом: Sc (0,00001), Ru (0,000005), Rh (0,000001), Pd (0,000005), In (0,000001), Te (0,000001), Eu (0,0000005), Er, Tm, Yb, Lu (0,0000005), Hf (0,0000005), Os (0,0000005), Ir (0,000005), Pt (0,000005), Hg (0,00005), Re (0,000001).

Кроме того, в пробах было определено три аниона, оцененных приближенно количественным химическим методом ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{I}^-$ ). Методом индикаторной бумаги в аликвоте измерен показатель pH.

#### Полученные результаты и их обсуждение

Анализ полученных данных по количеству выделенной жидкости показывает, что время начала ее отдачи и продолжительность выделения, а также объем выделения различен для каждого вида материала (таблица).

По продолжительности времени выделения дистиллята выстраивается следующий ряд: лёгкие–мышцы–подкожный жир–почка–селезёнка–кровь–печень.

По количеству выделившейся жидкости от массы исследованного материала (%) эта последовательность имеет следующий вид: печень и подкожный жир (5,5)–лёгкие (6,2)–кровь (7,2)–мышцы (8,9)–почки (17)–селезёнка (25).

Установлено, что щелочным показателем (pH-8) характеризуются выделенные жидкости из почки, крови и подкожного жира. Тогда как все остальные имеют нейтральный (pH-7) показатель. Следует отметить, что водородный показатель характеризуется весьма узкими диапазонами колебаний внутренней среды и строго контролируется буферными системами организма.

В соответствии с многочисленными литературными данными [22] в норме слабокислая среда наблюдается в подкожном жире (pH – 5,8), в печени (pH – 6,4) и в выделительной системе (pH – 6). Слабощелочная среда отмечается в крови (pH – 7,35–7,47).

Анализ кривой распределения 43 изученных химических элементов, встречающихся во всех изученных органах и тканях животного в значимых количествах (рис. 2), показывает, что общий

**Таблица.** Динамика выделения и объём выделившейся жидкости из органов и тканей свиньи домашней (*Sus Scrofa domestica L.*) методом возгонки

**Table.** Dynamic of excretion and volume of excreted biological water from the domestic pig (*S. S. domestica L.*) organs and tissues by sublimation

Орган, ткань Organs, tissues	Вес исходного материала, г Weight of source material, g	Время начала перегонки Distillation start time	Время появления конденсата Time of condensate occurrence	Время появления первой капли Time of the first drop appearance	Время окончания перегонки Ending distillation time	Продолжительность выделения Duration of extraction	Масса дистиллята, г Distillate weight, g	Остаток материала после возгонки, г Residue of the material after sublimation, g	% выделения дистиллята от исходной массы % of distillate separation from the initial mass
Кровь/Blood	92	12,56	13,19	14,02	16,20	2 ч. 18'	6,6	–	7,2
Селезенка/Spleen	38	12,25	12,35	13,00	14,55	1ч. 55'	9,5	25	25
Печень/Liver	182	11,09	11,50	12,20	15,53	3 ч. 33'	10	146	5,5
Почка/Kidney	88	11,34	11,47	12,05	13,52	1 ч. 47'	15	64	9170
Легкое/Lung	97	15,27	15,43	16,12	17,13	1 ч. 01'	6	75	6,2
Мышечная/Muscle	135	11,39	12,03	12,17	13,35	1 ч. 18'	12	114	8,9
Подкожный жир/Subcutis	100	14,35	14,48	15,06	16,45	1 ч. 39'	5,5	86	5,5

ее характер соответствует двум основным геохимическим закономерностям распределения элементов в материальных объектах Мира:

- 1) закону Кларка–Менделеева–Вернадского о преобладании легких элементов над тяжелыми;
- 2) закону Оддо–Гаркина о распределении четных и нечетных элементов.

В количествах больше 1 мг/л или приближающихся к этому в жидкостях почти всех органов и тканей отмечается Na, Ca, Mg, Si, K, что, видимо, связано с физиологическими функциями данных элементов.

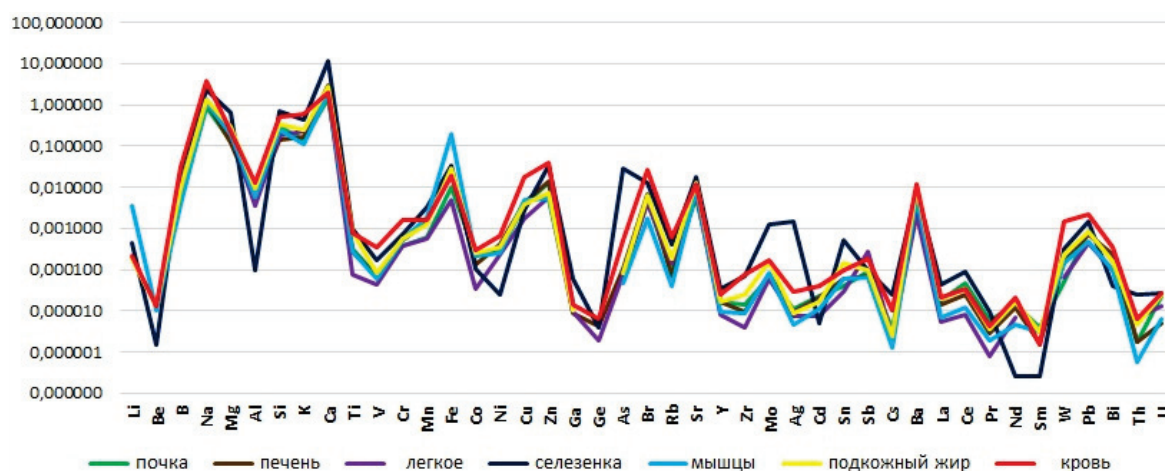
Последовательный ряд органов и тканей по частоте встречаемости максимальных концентраций элементов может быть представлен в следующем виде: кровь (25 из 56)?селезенка (19)?почки, подкожный жир (4)?мышцы (3)?легкие (2)?печень (1). Как видно, 25 элементов из 56 обнаруженных в максимальных концентрациях фиксируется в воде, выделенной из крови. Следует отметить, что кровь является самой динамичной из всех тканей в живом организме, выполняя транспортную функцию и перенося минеральные вещества из органов и тканей, осуществляя обменные процессы. Поэтому макси-

мум концентрации химических элементов в водной фазе данной ткани представляется логичным.

Девятнадцать из изученных элементов концентрируются в максимальных значениях в жидкости, полученной из селезенки. Одной из функций этого органа является поддержание водного баланса организма [23]. Селезенка, являясь центральным органом лимфосистемы, за сутки в среднем способна из тканевой жидкости образовать около 2 л лимфы при скорости движения около 300 мл/сек. Этот орган, кроме того, ответственен за очищение тканей от продуктов распада и токсинов. Поэтому не удивительно, что именно в нем, наравне с кровью, наблюдается максимальное концентрирование изученных химических элементов в мобильной растворенной форме.

Другие биологические жидкости по количеству максимально накапливающихся элементов выглядят следующим образом:

- Легкие – 2 (Sb, Ta);
- Почки – 4 (Al, Sm, Gd, I);
- Печень – 1 (Dy);
- Мышцы – 3 (Li, W, Fe);
- Подкожный жир – 4 (Be, Ba, Gd, Au).



**Рис. 2.** Распространённость изученных химических элементов (мг/л) в воде биологической, выделенной из органов и тканей свиньи домашней (*S. S. Domestica L.*)

**Fig. 2.** Content of studied chemical elements (mg/l) in biological water, extracted from the domestic pig (*S.S. Domestica L.*) organs and tissues

Удивительным оказался факт незначительного концентрирования элементов в воде, выделенной из печени, хорошо снабжающейся кровью и являющейся органом-депо. По-видимому, именно депонирующая роль приводит к концентрированию элементов не в растворенной форме, а в твердом остатке, что требует дальнейшего изучения.

Концентрация U в изученных органах и тканях практически всегда выше Th, и только в воде, выделенной из селезенки, их содержания почти близки и отношение Th/U приближается почти к 1 (рис. 3). Следует отметить, что по этому показателю она является аномальной и приближается к ториевому типу вод, впервые выявленному нами для вод гидросферы [24].

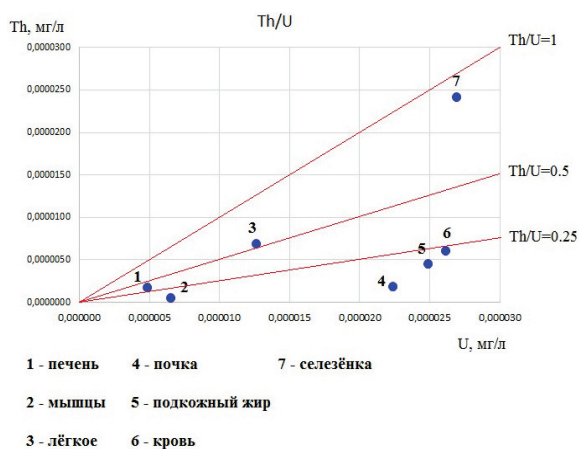


Рис. 3. Распределение органов и тканей свиньи домашней (*S.S. Domestica L.*) по содержанию Th и U в биологических жидкостях

Fig. 3. Allocation of organs and tissues of Domestic pig (*S.S. Domestica L.*) in content of Th, U in biological water of domestic pig (*S.S. Domestica L.*)

Обращает на себя внимание, что жидкость из селезенки содержит максимальные количества как естественных радиоактивных элементов, так и редких земель (рис. 3, 4), что может указывать на их общие механизмы миграции и концентрирования.

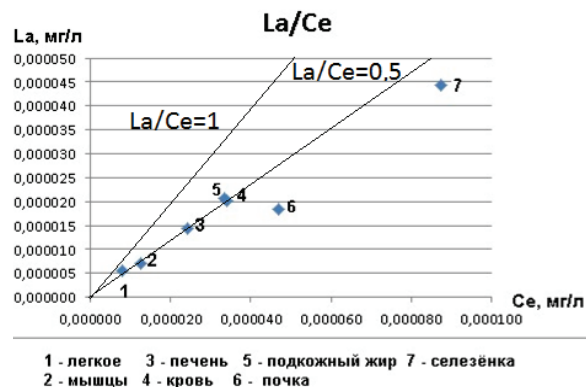


Рис. 4. Распределение органов и тканей по содержанию La и Ce в биологических жидкостях свиньи домашней (*S.S. Domestica L.*)

Fig. 4. Allocation of organs and tissues in content of La, Ce in biological water of domestic pig (*S.S. Domestica L.*)

Отмечается, что в исследованной воде Ce больше La, а Ce/La отношение (рис. 3) близко к таковому для речных и океанических вод.

Нормирование, выполненное относительно воды озера Байкал – условного эталона ультрапресной чистой воды [24], показывает, что содержание значительной части элементов в изученных биологических жидкостях выше. Исключение составляют Li, Mg, K, Ca, V, Ge, As, Rb, Sr, Mo, Ba, U, содержание которых много ниже во всех органах и тканях, по сравнению с водой озера Байкал, а также Ni, Cd, Nd в воде, выделенной из селезенки (рис. 5).

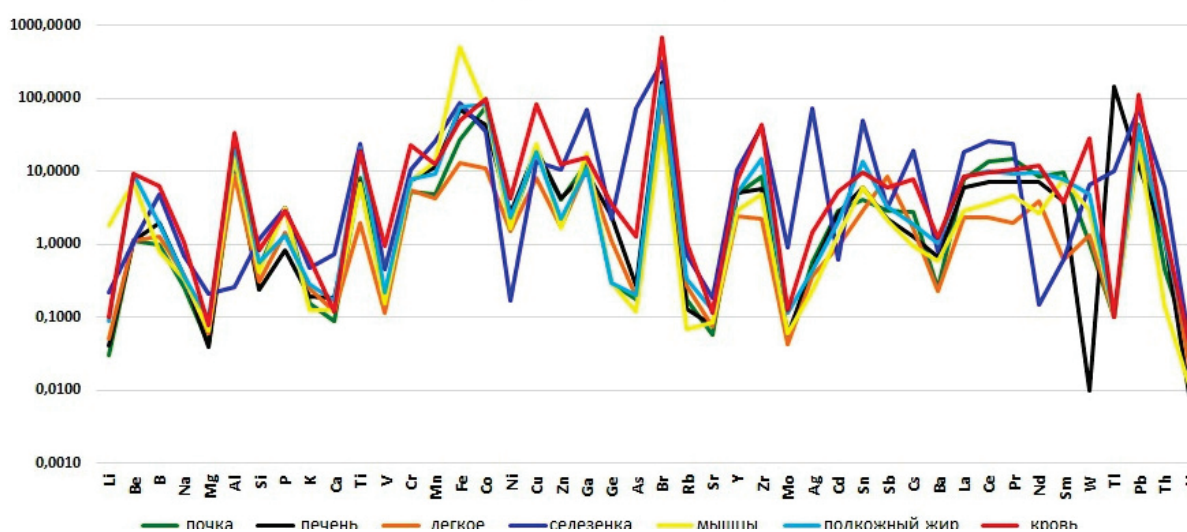


Рис. 5. Нормированная, относительно байкальской воды, кривая распределения изученных химических элементов в воде органов и тканей свиньи домашней (*S.S. Domestica L.*)

Fig. 5. Chemical elements centile curve in biological water of domestic pig (*S.S. Domestica L.*) rated with respect of Baikal lake water

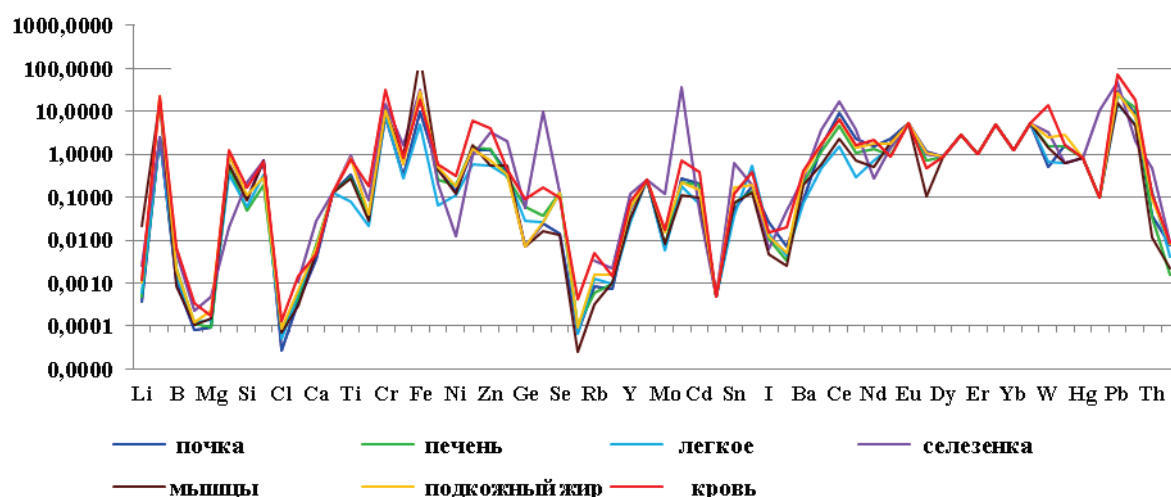


Рис. 6. Нормированная, относительно океанической воды [25], кривая распределения химических элементов в воде, выделенной из органов и тканей свиньи домашней (S.S. Domestica L.)

Fig. 6. Chemical elements centile curve in biological water of domestic pig (S.S. Domestica L.) rated with respect of ocean water [25]

Нормированная кривая распределения элементов данного материала (рис. 6) относительно морской воды по Р. Хорну [25] показывает некоторое обогащение биологической жидкости Be, Cr, Fe, Cu, Zn, Ga, Pb, Bi и многими редкими землями, близкое к их содержанию в океанической воде. Жидкость, выделенная из селезенки, обогащена As и Ag, а полученная из мышцы – Fe.

Почки характеризуются максимальным содержанием  $\text{SO}_4^{2-}$  (рис. 7), тогда как в крови накапливается  $\text{Cl}^-$  (рис. 7). Близость состава крови к составу морской воды может объяснять присутствие хлорид-иона, являющегося одним из ведущих ионов соленой воды, в высоких концентрациях в водной части изучаемой ткани.

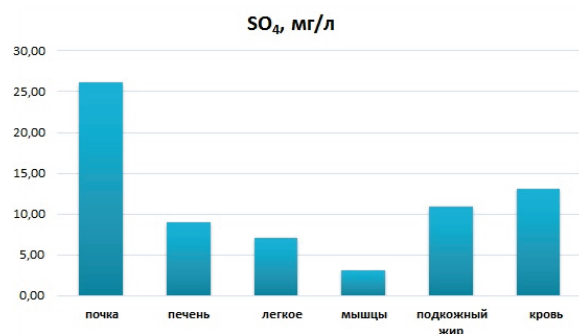


Рис. 7. Уровни концентрирования  $\text{SO}_4^{2-}$  в воде из органов и тканей свиньи домашней (S.S. Domestica L.)

Fig. 7. Concentration level of  $\text{SO}_4^{2-}$  in biological water of domestic pig (S.S. Domestica L.)

Йод накапливается преимущественно в биологической жидкости почек, где его содержание на порядок выше, чем в жидкостях других изученных материалов (рис. 9). Возможно, участие неотделенных при отборе проб надпочечников в гормональной регуляции повлияло на такое концентрирование данного элемента.

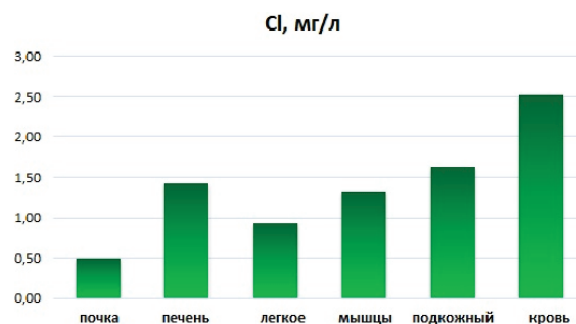


Рис. 8. Уровни концентрирования Cl в воде из органов и тканей свиньи домашней (S.S. Domestica L.)

Fig. 8. Concentration level of Cl in biological water of domestic pig (S.S. Domestica L.)

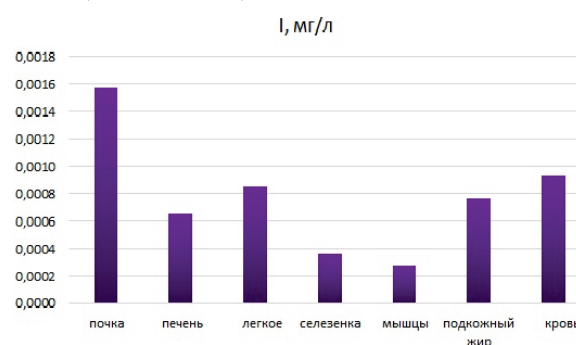


Рис. 9. Уровни концентрирования I в воде из органов и тканей свиньи домашней (S.S. Domestica L.)

Fig. 9. Concentration level of I in biological water of domestic pig (S.S. Domestica L.)

## Выводы

1. Впервые выполнены исследования по изучению характера накопления химических элементов в воде биологической, выделенной из органов и тканей модельного вида живого орга-

- низма на примере свиньи домашней (SUS SCROFA DOMESTICA L.).
2. Элементный состав жидкости изученных органов и тканей весьма разнообразен. Из 70 изученных элементов таблицы Д.И. Менделеева только 17 компонентов: Sc, Ru, Rh, Pd, In, Te, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Os, Ir, Pt, Hg, Re, содержатся ниже предела обнаружения.
  3. Распределение изученных химических элементов, встречающихся во всех изученных органах и тканях животного в значимых количествах, соответствует двум основным геохимическим закономерностям распределения элементов в материальных объектах Мира: закону Кларка–Менделеева–Вернадского о преобладании легких элементов над тяжелыми и закону Оддо–Гаркинса о распределении четных и нечетных элементов.
  4. Вода каждого органа или ткани имеет своё геохимическое «лицо» как по степени накопления элементов, так и по их отношениям.
  5. Максимальное концентрирование элементов фиксируется в воде биологической, выделенной из крови (25); 19 – в жидкости, полученной из селезенки, активно участвующей в процессе лимфо- и кровообращения. Все другие органы и ткани содержат значительно меньшие концентрации: почки – 4 (Al, Sm, Gd, I), подкожный жир – 4 (Be, Ba, Gd, Au), мышцы – 3 (Li, W, Fe), легкие – 2 (Sb, Ta).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера / сост. Н.А. Костяшкин, Е.М. Гончарова. – М.: Айрис-пресс, 2004. – 576 с.
2. Вернадский В.И. История природных вод / отв. ред. С.Л. Шварцев, Ф.Т. Яшина. – М.: Наука, 2003. – 750 с.
3. Физиология человека: атлас динамических систем / К.В. Судakov, В.В. Андрианов, Ю.Е. Вагин, И.И. Киселев. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. – 416 с.
4. Macro- and microelements in the rat liver, kidneys, and brain tissues; sex differences and effect of blood removal by perfusion in vivo / T. Orct, J. Jurasović, V. Micek, D. Karaica, I. Sabolić // Trace Elements in Medicine and Biology. – 2017. – № 40. – P. 104–111.
5. Kakuschke A., Griesel S. Essential and Toxic Elements in Blood Samples of Harbor Seals (Phoca vitulina) from the Islands Helgoland (North Sea) and Anholt (Baltic Sea): a Comparison Study with Urbanized Areas // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2016. – № 70. – P. 67–74.
6. The metal and metalloprotein profile of human plasma as biomarkers for stroke diagnosis / K.S. Nahana, K.B. Walshb, O. Adeoyeb, J.A. Landero-Figueroa // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. – 2017. – № 42. – P. 81–91.
7. Elemental analysis of serum and hair from pre-eclamptic South African women / K. Maduraya, J. Moodleyb, C. Soobramoneya, R. Moodleyc, T. Naickera // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. – 2017. – № 43. – P. 1–7.
8. Lead, cadmium and mercury in cerebrospinal fluid and risk of a myotrophic lateral sclerosis: a case-control study / M. Vincetia, T. Filippinia, J. Mandriolic, F. Viola, A. Bargellinia, J. Weuveb, N. Finic, P. Grillo, B. Michalkeda // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. – 2016. – № 41. – P. 1–5.
9. Брин В.Б. Физиология человека в схемах и таблицах. – Ростов-на-Дону: Изд-во «Феникс», 1999. – 352 с.
10. Skelton H. The storage of water by various tissues of the body // Archives of Internal Medicine. – 1926. – V. 2. – № 40. – P. 140–152.
11. Pitts R.F. Physiology of the kidney and body fluids // Year Book Medical Publishers. – 1968. – № 63. – P. 439–440.
12. Bernard C. Lecons sur les phenomenes de la vie communs aux animaux et aux vegetaux. – Paris: Bailliere, 1885. – 464 p.
13. Watson P.E., Watson I.D., Batt R.D. Total body water volumes for adult males and females estimated from simple anthropometric measurements // The American journal of Clinical Nutrition. – 1980. – № 33. – P. 27–39.
14. Биологическая химия / В. К. Кухта, Т.С. Морозкина, Э.И. Олецкий, А.Д. Таганович. – М.: Вином-Асар, 2008. – 688 с.
15. Очерки геохимии человека: монография / Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, Т.Н. Игнатова и др. – Томск: Дельтаплан, 2015. – 378 с.
16. Химический элементный состав органов и тканей человека и его экологическое значение / Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская, Т.Н. Игнатова и др. // Геохимия. – 2011. – № 7. – С. 779–784.
17. Кузнецов В.В. Влияние некоторых эймериостатических препаратов и схем профилактики эймериоза на клинический статус и энтеробиоценоз цыплят-бройлеров: дис.... канд. вет. наук. – Тюмень, 2006. – 122 с.
18. Mineral composition and toxic element levels of muscle, liver and kidney of intensive (Swedish Landrace) and extensive (Mangulica) pigs from Serbia / D. Nikolic, J. Djinic-Stojanovic, S. Janovic, N. Stanisic, C. Radovic, L. Pezo, M. Lausevic // Food Additives & Contaminants: Part A. – 2017. – V. 6. – № 34. – P. 1–22.
19. Effects of Pig Slurry as Basal and Panicle Fertilizer on Trace Element Content and Grain Quality in Direct-Seeding Rice /

- L. Huang, J. Yang, W. Gao, W. Yang, X. Cui, H. Zhuang // Sustainability. – 2016. – № 8. – P. 714–728.
20. Zhao Y., Wang D., Yang S. Effect of organic and conventional rearing system on the mineral content of pork // Meat Science. – 2016. – № 118. – P. 103–107.
21. Барановская Н.В., Рихванов Л.П. Элементный состав органов и тканей домашних животных (*Sus scrofa domestica* (Artiodactyla, Mammalia)) как индикатор среды обитания // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2011. – № 3 (17). – P. 74–84.
22. Капелист И.В., Алексеев А.Л. Показатели качества и физико-химические свойства мышечной ткани свиней мясных пород и типов // Современные тенденции развития агропромышленного комплекса. – 2006. – № 3. – С. 146–147.
23. Бородин Ю.И., Голубева И.А., Машак А.Н. Лимфатическая система и водный гомеостаз // Морфология. – 2005. – Т. 128. – № 4. – С. 60–64.
24. Рихванов Л.П. Радиоактивность и радиоактивные элементы как фактор геологической среды и его использование в науках о земле // Разведка и охрана недр. – 2017. – № 12. – С. 55–61.
25. Хорн Р. Морская химия (структура воды и химия гидросферы). – М.: Мир, 1972. – 380 с.
26. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология. – М.: Недра, 1996. – 425 с.

Поступила 10.11.2018 г.

### Информация об авторах

**Рихванов Л.П.**, доктор геолого-минералогических наук, профессор отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Барановская Н.В.**, доктор биологических наук, профессор отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Корогод Н.П.**, кандидат биологических наук, доцент кафедры общей биологии факультета математики и естествознания Павлодарского государственного педагогического университета.

**Хвощевская А.А.**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующая лабораторией «Гидрогеохимия» отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Копылова Ю.Г.**, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, начальник НОЦ «Вода» отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Мазурова И.С.**, инженер-исследователь ПНИЛ «Гидрогеохимия» отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Муканова Р.Ж.**, кандидат химических наук, доцент факультета математики и естествознания кафедры общей химии Павлодарского государственного педагогического университета.

**Туркбенов Т.К.**, кандидат химических наук, доцент факультета математики и естествознания кафедры общей химии Павлодарского государственного педагогического университета.

**Скрипник М.И.**, магистрант отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Беляновская А.И.**, аспирант отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 577.1

## ELEMENTAL COMPOSITION OF BIOLOGICAL WATER AS AN INDICATOR OF TECHNOGENESIS

**Leonid P. Rikhvanov<sup>1</sup>,**  
rikhvanov@tpu.ru

**Natalia V. Baranovskaya<sup>1</sup>,**  
nata@tpu.ru

**Natalia P. Korogod<sup>2</sup>,**  
natalya\_korogod@mail.ru

**Albina A. Khvashchevskaya<sup>1</sup>,**  
unpc\_voda@mail.ru

**Yuliya G. Kopylova<sup>1</sup>,**  
unpc\_voda@mail.ru

**Irina S. Mazurova<sup>1</sup>,**  
unpc\_voda@mail.ru

**Roza Zh. Mukanova<sup>2</sup>,**  
rozam14@mail.ru

**Timur K. Turkbenov<sup>2</sup>,**  
turbenovtk@yandex.ru

**Mariya I. Skripnik<sup>1</sup>,**  
mtmmashulia@mail.ru

**Aleksandra I. Belyanovskaya<sup>1</sup>,**  
aib28@tpu.ru

<sup>1</sup> National Research Tomsk Polytechnic University,  
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

<sup>2</sup> Pavlodar State Pedagogical University,  
60, Mira street, Pavlodar, 140000, Kazakhstan.

*Technogenesis is a global process affecting all geospheric shells of the Earth. Indication of the impact of industrial facilities is carried out using a set of methods, including biogeochemical studies and monitoring. Their organization requires constant development and improvement of both technical means of analysis and methodological approaches; scientists of the entire world community are making efforts to search for new indicator objects that most adequately reflect the technological consequences for the environment and public health. Water can be used as such an indicator. Water has enormous ecological functions in general and special functions for a living organism, but, in spite of the significant role and long history of research, its chemical composition is poorly studied. 0,0003 % of Earth's resources accounts for water referring to «biological water» by the definition of V.I. Vernadsky. However, the change in its elemental composition is the most objective indicator of the technogenic transformation that occurs under the influence of various industrial objects. The works showing the background chemical composition of this resource are the basis for organization of monitoring research in the areas of intensive man-made pressure.*

**The relevance** of the study is determined by the lack of detailed study of a wide range of chemical elements in the composition of individual organs and tissues of living organisms, including the water in them. This substance reflects the chemical composition of environment and may be the subject to monitoring. The chemical proximity of the organism of the domestic pig to the human's one allows obtaining a new tool for assessing the quality of the human places of residence, which directly assesses the body, which will significantly increase the objectivity of research.

**The aim** of the work is to study the chemical composition of biological water of individual organs and tissues, on the example of domestic pigs, to obtain background characteristics for biogeochemical monitoring.

**The methods.** Organs and tissues of seven-month domestic pig was sampled in Uspenka village, Pavlodar region (Kazakhstan) just after the slaughter and packed in plastics packages. Biological water was exudated by vacuum sublimation method upon the application of heat. The exudate was analyzed in certificated scientific-education center «Water» at Tomsk Polytechnic University by the method of inductively coupled plasma mass spectrometry according to the certified HCAM 480X method with NeXION 300D spectrometer.

**Result.** The authors have studied the composition and characteristics of distribution of 70 chemical elements in biological water, separated by vacuum sublimation from the organs and tissues of the domestic pig, selected on the territory of the conditionally environmentally friendly village Uspenka, Pavlodar region. The interrelation between the elemental composition of the biological fluid and the physiological functions of the organs of the animals studied as well as the composition of the habitat was revealed.

### Key words:

Technogenesis, biogeochemistry, biological water, chemical elements, vacuum sublimation method, ICP-MS, geochemical indicator, background monitoring.

*The authors thank O.E. Akbasheva, Dr. Sc., professor (Siberian State Medical University, Tomsk), for useful discussion and comments made on the manuscript of the article.*

### REFERENCES

1. Vernadskiy V.I. *Biosfera i noosfera* [Biosphere and noosphere]. Composed by N.A. Kostyashkin, E.M. Goncharova. Moscow, Ayris-Press, 2004. 576 p.
2. Vernadskiy V.I. *Istoriya prirodnikh vod* [History of natural water]. Eds. S.L. Shvartsev, F.T. Yashina. Moscow, Nauka Publ., 2003. 750 p.
3. Sudakov K.V., Andrianov V.V., Vagin Yu.E., Kiselev I.I. *Fiziologiya cheloveka: Atlas dinamicheskikh sistem* [Human Physiology: Atlas of Dynamic Systems]. Moscow, GEOTAR – Media Publ., 2009. 416 p.
4. Orct T., Jurasović J., Micek V., Karaica D., Sabolić I. Macro- and microelements in the rat liver, kidneys, and brain tissues; sex differences and effect of blood removal by perfusion in vivo. *Trace Elements in Medicine and Biology*, 2017, no. 40, pp. 104–111.

5. Kakuschke A., Griesel S. Essential and Toxic Elements in Blood Samples of Harbor Seals (*Phoca vitulina*) from the Islands Helgoland (North Sea) and Anholt (Baltic Sea): A Comparison Study with Urbanized Areas. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2016, no. 70, pp. 67–74.
6. Nahana K.S., Walsh K.B., Adeoye O., Landero-Figueroa J.A. The metal and metalloprotein profile of human plasma as biomarkers for stroke diagnosis. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2017, no. 42, pp. 81–91.
7. Maduraya K., Moodley J., Soobramoney C., Moodley R., Naicker T. Elemental analysis of serum and hair from pre-eclamptic South African women. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2017, no. 43, pp. 1–7.
8. Vincetia M., Filipina T., Mandriolic J., Viola F., Bargellina A., Weuve J., Finic N., Grillo P., Michalka B. Lead, cadmium and mercury in cerebrospinal fluid and risk of amyotrophic lateral sclerosis: a case-control study. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2016, no. 41, pp. 1–5.
9. Brin V.B. *Fiziologiya cheloveka v skhemakh i tablitsakh* [Human physiology in charts and tables]. Rostov-on Don, Feniks Publ., 1999. 352 p.
10. Skelton H. The storage of water by various tissues of the body. *Archives of Internal Medicine*, 1926, vol. 2, no. 40, pp. 140–152.
11. Pitts R.F. Physiology of the kidney and body fluids. *Year Book Medical Publishers*, 1968, no. 63, pp. 439–440.
12. Bernard C. *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux* [Lessons on the phenomena of life common to animals and plants]. Paris, Baillière Publ., 1885. 464 p. In Fr.
13. Watson P.E., Watson I.D., Batt R.D. Total body water volumes for adult males and females estimated from simple anthropometric measurements. *The American journal of Clinical Nutrition*, 1980, no. 33, pp. 27–39.
14. Kukhta V.K., Morozkina T.S., Oletskiy E.I., Taganovich A.D. *Biologicheskaya khimiya* [Biochemistry]. Moscow, Binom-Asar Publ., 2008. 688 p.
15. Baranovskaya N.V., Rikhvanov L.P., Ignatova T.N. *Ocherki geokhimii cheloveka: monografiya* [Human geochemistry essays: monograph]. Tomsk, TPU Publ. house, 2015. 378 p.
16. Rikhvanov L.P., Baranovskaya N.V., Ignatova T.N. Khimicheskii elementny sostav organov i tkaney cheloveka i ego ekologicheskoe znachenie [Chemical elemental composition of human organs and tissues and its ecological significance]. *Geochemistry*, 2011, no. 7, pp. 779–784.
17. Kuznetsov V.V. *Vliyanie nekotorykh eymeriostatsicheskikh preparatov i skhem profilaktiki eymerioza na klinicheskiy status i enterobiosenoz tsyplyat-broylerov*. Dis. Kand. Nauk [The effect of some eimeriostatic drugs and schemes for prevention of eimeriosis on clinical status and enterobiosenosis of broiler chickens. Cand. Diss.]. Tyumen, 2006. 122 p.
18. Nikolic D., Djinojic-Stojanovic J., Jankovic S., Stanisic N., Radovic C., Pezo L., Lausevic M. Mineral composition and toxic element levels of muscle, liver and kidney of intensive (Swedish Landrace) and extensive (Mangulica) pigs from Serbia. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 2017, vol. 6, no. 34, pp. 1–22.
19. Huang L., Yang J., Gao W., Yang W., Cui X., Zhuang H. Effects of Pig Slurry as Basal and Panicle Fertilizer on Trace Element Content and Grain Quality in Direct-Seeding Rice. *Sustainability*, 2016, no. 8, pp. 714–728.
20. Zhao Y., Wang D., Yang S. Effect of organic and conventional rearing system on the mineral content of pork. *Meat Science*, 2016, no. 118, pp. 103–107.
21. Baranovskaya N.V., Rikhvanov L.P. Elementny sostav organov i tkaney domashnikh zhivotnykh (*Sus scrofa domestica* (Artiodactyla, Mammalia)) kak indikator sredi obitaniya [Elemental composition of organs and tissues of domestic animals (*Sus scrofa domestica* (Artiodactyla, Mammalia)) as an indicator of habitat]. *Problemy biogeokhimii i geokhimicheskoy ekologii*, 2011, no. 3 (17), pp. 74–84.
22. Kapelst I.V., Alekseev A.L. Pokazateli kachestva i fiziko-khimicheskie svoystva myshechnoy tkani svinей myasnykh porod i tipov [Indicators of quality and physico-chemical properties of muscle tissue of pigs of meat breeds and types]. *Sovremennye tendentsii razvitiya agropromyshlennogo kompleksa*, 2006, no. 3, pp. 146–147.
23. Borodin Yu.I., Golubeva I.A., Mashak A.N. *Limfoticheskaya sistema i vodnyy gomeostaz* [Lymphatic system and homeostasis]. *Morfologiya*, 2005, vol. 128, no. 4, pp. 60–64.
24. Rikhvanov L.P. Radioaktivnost i radioaktivnye elementy kak faktor geologicheskoy sredi i ego ispolzovanie v naukakh o zemle [Radioactivity and radioactive elements as the factor of geological environment and its use in earth sciences]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2017, no. 12, pp. 55–61.
25. Khorn R. *Morskaya khimiya (struktura vody i khimiya gidrosfery)* [Marine chemistry (structure of water and chemistry of the hydrosphere)]. Moscow, Mir Publ., 1972. 380 p.
26. Shvartsev S.L. *Obshchaya gidrogeologiya* [General Hydrology]. Moscow, Nedra Publ., 1996. 425p.

Received: 10 November 2018.

#### Information about the authors

**Leonid P. Rikhvanov**, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Natalia V. Baranovskaya**, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Natalia P. Korogod**, Cand. Sc., associate professor, Pavlodar State Pedagogical University.

**Albina A. Khvashchevskaya**, Cand. Sc., head of laboratory «Hydrogeochemistry», National Research Tomsk Polytechnic University.

**Yuliya G. Kopylova**, Cand. Sc., senior scientific worker, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Irina S. Mazurova**, Cand. Sc., researcher, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Roza Zh. Mukanova**, Cand. Sc., associate professor, Pavlodar State Pedagogical University.

**Timur K. Turkbenov**, Cand. Sc., associate professor, Pavlodar State Pedagogical University.

**Mariya I. Skripnik**, graduate student, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Aleksandra I. Belyanovskaya**, postgraduate, National Research Tomsk Polytechnic University.