

естественный участок – осушенный участок – участок с постмелиоративным заболачиванием. На примере участка с естественным гидрологическим режимом показано, что межфазное распределение Cs-137 характеризуется увеличением миграционно-способных форм (растворенных и связанных с взвешенными частицами) с глубиной залежи. Так, для горизонта 0-10 см распределение между фазами торфа, взвеси, растворенных компонентов составляет 98,1, 0,9 и 0,9 %, соответственно. При этом, на глубине 20-30 см распределение имеет следующее соотношение: 85,4 % для твердой торфа, 10,9 % для взвешенных частиц и 3,6 % для растворенных компонентов.

4. В условиях модельного эксперимента показано, что максимальная глубина вертикальной миграции Cs-137 в условиях естественного участка составила 17 см, при этом наблюдается неравномерное распределение по глубине 90,5 % активности изотопной метки зафиксировано в слое 0-5 см и лишь 9,5 % в слое 5-17 см. Для осушенного участка вертикальная миграция Cs-137 составила 14 см, а распределение более равномерное: в слое 0-5 см зафиксировано 65 %, а в 5-14 см связано 35 % от вносимого количества (300 Бк) Cs-137. Увеличение параметра pH (в интервале pH от 2 до 6) сопровождается ростом степени связывания Cs-137 верховым торфом с 1,3 до 72,3 % (предельной адсорбции с 0,95 до 51,18 Бк/г).

#### Литература

1. Сири́н, А. А. Заболоченность Арктической зоны России / А. А. Сири́н, А. В. Маркина, Т. Ю. Минаева // Болотные экосистемы Северо-Востока Европы и проблемы экологической реставрации в зоне многолетней мерзлоты: Междунар. полевой симпозиум. – Сыктывкар: Изд-во КНЦ УрО РАН, 2017. – С. 16–22.
2. Указ Президента Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kremlin.ru/acts/bank/45972/page/1> (дата обращения: 27.10.2020).
3. Шевченко, В. П. Поступление микроэлементов из атмосферы, зарегистрированное в природном архиве (на примере Иласского верхового болота, водосбор Белого моря) / В. П. Шевченко, О. Л. Кузнецов, Н. В. Политова [и др.] // Доклады академии наук: Геохимия. – 2015. – Т. 465. – № 5. – С. 587–592. DOI: 10.7868/S0869565215350200.
4. Fialkiewicz-Koziel, B. Influence of transboundary transport of trace elements on mountain peat geochemistry (Sudetes, Central Europe). / B. Fialkiewicz-Koziel, E. Lokas, M. Galka [et al.] // Quaternary Science Reviews. – 2020. – V. 230. – Art. 106162. DOI: 10.1016/j.quascirev.2020.106162.
5. Helariutta, K. Radionuclides in Peat Bogs and Energy Peat (STUK-A-143) / K. Helariutta, A. Rantavaara, J. Lehtovaara. – Finland, Helsinki : Radiation and Nuclear Safety Authority, 2000. – 61 p.
6. Lokas, E. Sources and pathways of artificial radionuclides to soils at a High Arctic site. / E. Lokas, P. Bartminski, P. Wachniew [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. – 2014. – V. 21. – P. 12479–12493. DOI: 10.1007/s11356-014-3163-6.
7. Mroz, T. Atmospheric fallout radionuclides in peatland from Southern Poland / T. Mroz, E. Lokas, J. Kocurek [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2017. – № 176. – P. 25–33. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2017.04.012.
8. Roux, G. L. Constructing recent peat accumulation chronologies using atmospheric fall-out radionuclides / G. L. Roux, W. A. Marshall // Mires and Peat. – 2011. – V. 7. – Art. 08. – P. 1–14.
9. Savichev, O. Geochemical barriers in oligotrophic peat bog (Western Siberia) / O. Savichev, E. Soldatova, M. Rudmin [et al.] // Applied Geochemistry. – 2020. – V. 113. – Art. 104519. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2019.104519.
10. Yakovlev, E. Atmospheric fallout of radionuclides in peat bogs in the Western segment of the Russian arctic / E. Yakovlev, R. Spirov, S. Druzhinin [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. – 2021. – V. 28. – P. 25460–25478. DOI: 10.1007/s11356-020-12224-7.

### ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ БЕДРЕННОЙ КОСТИ МЛЕКОПИТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Рулик М.А.

Научный руководитель профессор Н.В. Барановская

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия**

Минерализованные ткани накапливают элементы, играющие важную роль в здоровье животных. В качестве геоиндикаторов среды обитания возможно использовать элементный состав млекопитающих, в частности содержания и соотношения химических элементов в их костной ткани [4, 6]. Содержание многих элементов в допустимой концентрации важно для правильного формирования костной системы животных. И дефицит или профицит микроэлементов могут нанести вред живому организму. Микроэлементы концентрируются в живом организме в низких концентрациях, однако они являются необходимыми составляющими для работы организма и принимают участие во всех физиологических и патологических процессах [2].

В работе была изучена бедренная кость млекопитающих, отобранных на территории Сибири и Дальнего Востока: дикий кабан (*Sus scrofa*), свинья (*Sus scrofa domestica*) и олень благородный: марал и изюбрь (*Cervus elaphus*). Материал представляет собой сухой остаток костной ткани млекопитающего.

Определение химических элементов проводилось с использованием анализа масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) в проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии ТПУ (зав. лабораторией – к.г.-м.н. Хващевская А.А., аналитик – Куровская В.В.), по аттестованным методикам.

Для правильного формирования костного скелета и поддержания важных функций, как передача нервных импульсов и движение мышц, в живом организме необходим кальций и фосфор. Доля фосфора в скелете изменчива

и живой организм может временно компенсировать недостаток фосфора. Соотношения кальция и фосфора в норме – 1:1-1:2 [4].

Исходя из незначительных различий между средними и медианными значениями, а также относительно коэффициента вариации, следует вывод о том, что распределение элементов, которые участвуют в моделировании костной ткани, близко к нормальному распределению. Так, у всех представленных животных наблюдается преимущественно однородное распределение для К, Р, Са и Na.

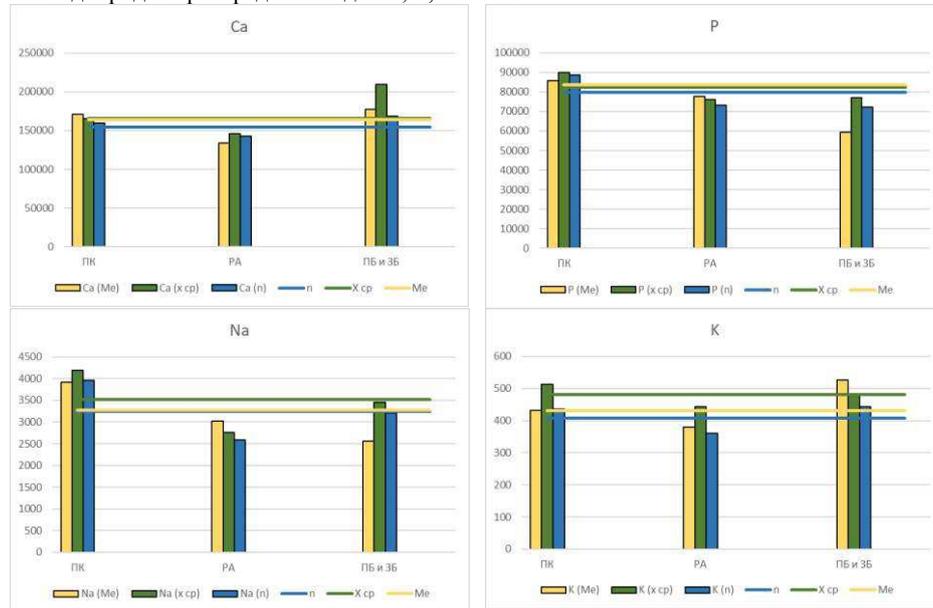


Рис. Содержание Ca, P, Na и K в бедренной кости млекопитающих Сибири и Дальнего Востока

Вышеприведенные графики показывают разницу в накоплении. Среднее содержание кальция в костной ткани животных выше на территории Прибайкалья и Забайкальского края. Среднее содержание фосфора, натрия и калия бедренной кости млекопитающих отмечается в Приморском крае, и оно на уровне со средними показателями содержания фосфора, натрия и калия в бедренной кости млекопитающих территории Сибири и Дальнего Востока.

На основании графиков был сделан геохимический ряд. Приведенная таблица показывает, что содержание Са, Р, Na, К на уровне установленного предела Кк (Кк>1). Коэффициент концентрации К = 1,08 в бедренной кости млекопитающих одинаковый для всех изученных территорий в данной работе. Кк Са имеет одно значение (1,03) для бедренной кости млекопитающих с территориями Приморского края и Республики Алтай, значение коэффициента концентрации Са костной ткани млекопитающих с территории Прибайкалья и Забайкалья 1,24. Данный момент можно объяснить разностью выборки.

Таблица

Геохимический ряд

Территория	Элементы
ПК	Ag <sub>7,2</sub> –Mo <sub>26</sub> –Sn <sub>12</sub> –Ir <sub>8</sub> –Th <sub>7</sub> –Be <sub>7,3</sub> –In <sub>6</sub> –Pd <sub>5</sub> –Nb <sub>4,7</sub> –Cs <sub>4,2</sub> –Hf <sub>4,1</sub> –U <sub>4,08</sub> –Hg <sub>4</sub> –Br <sub>3,7</sub> –I <sub>3,6</sub> –Au <sub>3,5</sub> –Ce <sub>3</sub> –V <sub>2,9</sub> –Sm <sub>2,91</sub> –Ni <sub>2,8</sub> –W <sub>2,8</sub> –Eu <sub>2,6</sub> –S <sub>2,6</sub> –Zr <sub>2,6</sub> –Cd <sub>2,5</sub> –Ta <sub>2,4</sub> –Nd <sub>2,4</sub> – <b>Mn<sub>2,4</sub></b> –Ba <sub>2,4</sub> –Se <sub>2,3</sub> –La <sub>2,3</sub> –Al <sub>2,3</sub> –Cr <sub>2,2</sub> –Dy <sub>2,2</sub> –Ti <sub>2,2</sub> –Cl <sub>2,2</sub> –Ti <sub>2,2</sub> –Pr <sub>2,2</sub> – <b>Fe<sub>2</sub></b> –Sb <sub>1,9</sub> –Gd <sub>1,8</sub> –Ga <sub>1,6</sub> –Bi <sub>1,56</sub> –Sc <sub>1,5</sub> –Cu <sub>1,5</sub> –Co <sub>1,46</sub> –Pb <sub>1,44</sub> –As <sub>1,44</sub> – <b>Er<sub>1,42</sub></b> –Li <sub>1,36</sub> –Te <sub>1,36</sub> –Ge <sub>1,3</sub> –Y <sub>1,3</sub> –Tb <sub>1,3</sub> –Rb <sub>1,3</sub> –Si <sub>1,29</sub> –B <sub>1,2</sub> –Lu <sub>1,2</sub> – <b>K<sub>1,18</sub></b> –Rh <sub>1,18</sub> – <b>Yb<sub>1,15</sub></b> – <b>Sr<sub>1,12</sub></b> –Tm <sub>1,12</sub> – <b>Os<sub>1,11</sub></b> – <b>Re<sub>1,08</sub></b> – <b>Zn<sub>1,06</sub></b> – <b>Na<sub>1,06</sub></b> – <b>Mg<sub>1,05</sub></b> – <b>Ca<sub>1,03</sub></b> – <b>Ho<sub>1,02</sub></b> – <b>P<sub>1,01</sub></b>
РА	I <sub>26</sub> –Cs <sub>8</sub> –Nd <sub>7</sub> –Pr <sub>7,5</sub> –Gd <sub>5</sub> –Nb <sub>4,7</sub> –Mo <sub>4,5</sub> –Sc <sub>4,4</sub> –Au <sub>4,3</sub> –Bi <sub>4,3</sub> –Dy <sub>4,06</sub> –Cr <sub>3,6</sub> –Pd <sub>3,5</sub> –Th <sub>3,4</sub> –La <sub>3,3</sub> –Sm <sub>3,1</sub> –Ir <sub>2,9</sub> –Br <sub>2,8</sub> – <b>Yb<sub>2,8</sub></b> –Sn <sub>2,75</sub> –Ce <sub>2,71</sub> –Sb <sub>2,68</sub> –Tb <sub>2,63</sub> –Y <sub>2,62</sub> –Cd <sub>2,58</sub> –U <sub>2,56</sub> –Ti <sub>2,47</sub> – <b>Er<sub>2,46</sub></b> –W <sub>2,42</sub> –Te <sub>2,35</sub> –Ni <sub>2,32</sub> –Se <sub>2,31</sub> –V <sub>2,29</sub> –Eu <sub>2,27</sub> – <b>Fe<sub>2,27</sub></b> –Ag <sub>2,26</sub> –Ta <sub>2,25</sub> –Hf <sub>2,24</sub> –Tl <sub>2,09</sub> –Ba <sub>1,99</sub> –Al <sub>1,93</sub> – <b>Ho<sub>1,86</sub></b> –S <sub>1,77</sub> –Co <sub>1,74</sub> –Ge <sub>1,68</sub> –Si <sub>1,64</sub> –Ga <sub>1,63</sub> – <b>Mg<sub>1,59</sub></b> –Zr <sub>1,49</sub> – <b>Re<sub>1,47</sub></b> – <b>Os<sub>1,47</sub></b> –Lu <sub>1,47</sub> –Tm <sub>1,45</sub> –Rb <sub>1,45</sub> –Hg <sub>1,42</sub> –Cl <sub>1,41</sub> –As <sub>1,38</sub> –Ru <sub>1,32</sub> –Cu <sub>1,29</sub> –In <sub>1,27</sub> – <b>K<sub>1,23</sub></b> –Li <sub>1,17</sub> – <b>Mn<sub>1,17</sub></b> – <b>Pb<sub>1,17</sub></b> – <b>B<sub>1,16</sub></b> – <b>Zn<sub>1,08</sub></b> – <b>Na<sub>1,07</sub></b> –Rh <sub>1,07</sub> – <b>Sr<sub>1,04</sub></b> – <b>P<sub>1,04</sub></b> – <b>Ca<sub>1,03</sub></b>
ПБ и ЗБ	Ge <sub>7</sub> –Si <sub>5</sub> –I <sub>5,3</sub> –Se <sub>4,7</sub> –Ir <sub>4,6</sub> –Ru <sub>4,6</sub> –Dy <sub>4,3</sub> –Zr <sub>4,2</sub> –Ag <sub>3,6</sub> –Sb <sub>3,6</sub> –Nd <sub>3,6</sub> –Cl <sub>3,5</sub> –Cs <sub>3,5</sub> –Cd <sub>3,47</sub> –Al <sub>3,42</sub> –Ce <sub>3,34</sub> –W <sub>3,16</sub> –Sn <sub>3,11</sub> –Gd <sub>2,97</sub> –Br <sub>2,87</sub> –La <sub>2,71</sub> –V <sub>2,65</sub> –Pr <sub>2,5</sub> –Tl <sub>2,5</sub> –Nb <sub>2,38</sub> –Se <sub>2,34</sub> –Sm <sub>2,24</sub> –Mo <sub>2,2</sub> –Cr <sub>2,09</sub> –Eu <sub>2,01</sub> –Ta <sub>1,9</sub> –Pd <sub>1,9</sub> –Bi <sub>1,95</sub> –Y <sub>1,92</sub> –Lu <sub>1,8</sub> –Hg <sub>1,8</sub> –Au <sub>1,79</sub> –Pb <sub>1,77</sub> –In <sub>1,6</sub> –Te <sub>1,6</sub> –Ti <sub>1,58</sub> –Co <sub>1,56</sub> –Ba <sub>1,53</sub> –S <sub>1,47</sub> –Rh <sub>1,47</sub> –Li <sub>1,43</sub> – <b>Fe<sub>1,43</sub></b> –As <sub>1,42</sub> –Tb <sub>1,36</sub> –Ga <sub>1,35</sub> –Hf <sub>1,28</sub> – <b>Ca<sub>1,24</sub></b> –Tm <sub>1,22</sub> – <b>Mn<sub>1,2</sub></b> –B <sub>1,2</sub> – <b>Sr<sub>1,19</sub></b> – <b>Zn<sub>1,19</sub></b> –U <sub>1,18</sub> –Ni <sub>1,17</sub> –Rb <sub>1,16</sub> –Th <sub>1,16</sub> –Cu <sub>1,09</sub> – <b>Mg<sub>1,09</sub></b> – <b>K<sub>1,08</sub></b> – <b>Na<sub>1,07</sub></b> – <b>P<sub>1,06</sub></b>

Примечание: Элементы с Кк>1, которые повторяются в исследуемой бедренной кости млекопитающих с территорий Сибири и Дальнего Востока, курсивом и подчеркиванием выделены элементы, которые повторяются на 2-х территориях, жирным шрифтом – редкоземельные элементы и радиоактивные элементы, зеленым – элементы, составляющие костную ткань организма.

Можно заметить, что имеется высокий коэффициент концентрации тяжелых металлов: алюминий, мышьяк, свинец, сурьма, ртуть, кадмий, никель, литий, хром и др. Несмотря на то, что металлы естественным образом присутствуют в окружающей среде, их уровни в различных частях окружающей среды значительно повышаются в результате деятельности человека. Повышенное содержание тяжелых металлов в живом организме влияет на затруднение усваивания жизненно важных минералов, как цинка, железа, кальция, магния, натрия. Особенно это происходит от недостаточного содержания минералов в рационе питания. Например, кадмий, имеющий токсикологическое воздействие при избытке в живом организме, разносясь по крови, может вызвать деформацию и переломы костей, поскольку будет нарушен обмен кальция и фосфора [1]. Кадмий, как и цинк, способен замещать элементы в биогеохимических реакциях. Он может быть антагонистом кальция и железа и способен вытеснить или заменить данные элементы в костной ткани живого организма. Этим условиям могут поспособствовать увеличение содержания токсичных микроэлементов в реакции с главными (эссенциальными) микроэлементами [3].

Костная ткань является «депо» в живом организме, она способна концентрировать и сохранять концентрацию продолжительное время. Существует много свидетельств того, что концентрации элементов в костях сильно коррелируют с условиями окружающей среды, питанием и состоянием здоровья млекопитающих. Проведенный анализ содержания химических элементов в костной ткани млекопитающих показал разницу в концентрировании в зависимости от места обитания млекопитающих. По результатам исследования такие элементы, как Na, K, Ca и P, имеют примерно одинаковое распределение у всех представленных животных. Другие же элементы имеют разброс в концентрировании в бедренной кости. Данный фактор связан из-за особенностей каждой территории и видом питания каждого млекопитающего. Долевой вклад для каждой исследуемой территории показал, что процентное соотношение из всей выборки для Приморского края составляет 44,83 %, Республики Алтай – 37,93 %, Прибайкалья и Забайкалья – 20,68 %.

*Аналитические исследования выполнены при поддержке гранта РФФ № 20-64-47021*

#### Литература

1. Агеева, Е. В. Редкоземельные и радиоактивные (Th, U) элементы в компонентах природной среды как индикаторы эколого-геохимических обстановок (на примере Томской и Кемеровской областей): автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук: спец. 1.6.21 / Е. В. Агеева; Национальный исследовательский Томский политехнический университет; науч. рук. Н. В. Барановская. – Томск, 2022. – 23 с.
2. Ахмеджанова З.И., Жиемуратова Г.К., Данилова Е.А., Урунова Д.М., Каримов Д.А. Макро- и микроэлементы в жизнедеятельности организма и их взаимосвязь с иммунной системой (обзор литературы) / З.И. Ахмеджанова // Журнал теоретической и клинической медицины. – 2020. – № 1. – С. 16-21.
3. Виноградов А. П. Геохимия живого вещества – Л.: Изд-во АН СССР, 1932. – 67 с.
4. Дериглазова М. А. Минералого-геохимические особенности зольного остатка организма жителей некоторых городов России как индикатор эколого-геохимической обстановки: Автореф. дис. на соискание ученой степени к.г.-м.н. – Томск, 2020. – 177 с.
5. Ковальский, В.В. Геохимическая среда и жизнь – Москва: Наука, 1982. – 85 с.
6. Katarzyna Tajchman, Aleksandra Ukalska-Jaruga, Marek Bogdaszewski, Monika Pecio, Pawel Janiszewski Comparison of the accumulation of macro- and microelements in the bone marrow and bone of wild and farmed red deer (Cervus elaphus) // BMC Veterinary Research. – 2021. – Т. 324, № 17. – 11 с.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ИРКУТСК)

Савкив А.С.<sup>1</sup>, Гантимурова С.А.<sup>1,2</sup>

Научный руководитель профессор А.В. Паршин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт «Сибирская школа геонаук» Иркутского национального исследовательского технического университета, г. Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, Россия

Известно, что основная масса загрязнителей атмосферы содержится в пылевых выпадениях (твердой фазе): до 90 %, а на жидкую приходится не более 10 % [1]. В Восточной Сибири, где период с отрицательными температурами воздуха длится 5-6 месяцев, в качестве объекта изучения атмосферных выпадений часто используют снежный покров [5, 8]. Отбор проб снега, их таяние, фильтрация и обработка данных занимают длительное время. Поэтому на практике для оценки интенсивности поступления загрязнителей исследователи ограничиваются относительно небольшим количеством проб, что снижает точность оценки. При изучении больших территорий подобный метод требует больших затрат, как финансовых, так и временных. В последние годы использование дистанционных методов, таких как спутниковая съемка и маловысотная аэросъемка, стало актуальным и эффективным способом изучения распространения загрязнений в снежном покрове [2]. В данной статье рассмотрено применение дистанционных методов для исследования загрязнения снежного покрова на примере территории города Иркутска (рис. 1).