

---

---

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

---

УДК 57.04

DOI 10.25587/2222-5404-2024-21-1-5-11

## К вопросу о содержании токсических элементов в луговых травах сельской местности Хангаласского района

*Г. Е. Миронова<sup>1</sup> ✉, А. А. Григорьева<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

<sup>2</sup>Арктический медицинский центр Якутского научного центра комплексных медицинских проблем,  
г. Якутск, Россия

✉ mirogalin@mail.ru

**Аннотация.** Актуальность изучения микроэлементного состава почв и растительного покрова северных территорий обусловлена, во-первых, ролью микроэлементов в почвообразовании в условиях криолитозоны, во-вторых, влиянием микроэлементного фона растений на физиологические функции животных и человека. При этом особого внимания заслуживают тяжелые металлы, представляющие угрозу для всех живых организмов в связи с тем, что они способны накапливаться. В статье приведены данные о содержании свинца, кадмия и цинка в надземных частях луговых трав, произрастающих в условиях криолитозоны – в Хангаласском районе, расположенном в Центрально-Якутской биогеохимической провинции. Атомно-абсорбционный спектральный анализ показал, что уровень свинца в надземных частях изученных растений значительно варьировал в зависимости от места сбора, но не превышал предельно допустимых концентраций, тогда как концентрация цинка в некоторых пунктах сбора трав превышала предельно допустимые концентрации. Необходимость изучения уровня свинца и кадмия в растениях обусловлена тем, что они являются первичным звеном на пути перемещения токсических элементов по трофической цепи в организм человека. Свинец и кадмий, являясь канцерогенами, могут накапливаться в паренхиматозных органах и влиять на заболеваемость и смертность населения Севера.

**Ключевые слова:** Хангаласский район, свинец, кадмий, цинк, предельно допустимая концентрация (ПДК), растения, криолитозона, Север.

**Для цитирования:** Миронова Г. Е., Григорьева А. А. К вопросу о содержании токсических элементов в луговых травах сельской местности Хангаласского района. Вестник СВФУ. 2024, Т. 21, №1. С. 5–11. DOI: 10.25587/2222-5404-2024-21-1-5-11

## On the content of toxic elements in meadow grasses of rural areas of Khangalassky district

G. E. Mironova<sup>1</sup> ✉, A. A. Grigoryeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

<sup>2</sup>Arctic medical center of the Yakut science center for complex medical problems, Yakutsk, Russia

✉ mirogalin@mail.ru

**Abstract.** The importance of studying the microelement composition of soils and vegetation in the Northern territories is due to the role of microelements in soil formation under cryolithozone conditions, and secondly, the influence of the microelement background of plants on the physiological functions of animals and humans. At the same time, heavy metals deserve special attention as they pose a threat to all living organisms due to their ability to accumulate. The article presents data on the content of heavy metals in the aboveground parts of meadow grasses growing under cryolithozone conditions - in the Khangalassky district, located in the Central Yakut biogeochemical province. Atomic absorption spectral analysis showed that the content of heavy metals - cadmium and lead - in the aboveground parts of the studied plants varied significantly depending on the place of collection, but did not exceed the maximum permissible concentrations. The concentration of zinc in some of the herbal collection points exceeded the maximum permissible concentrations. The need to study the content of heavy metals in plants is due to the fact that they are the primary link in the movement of toxic elements along the trophic chain into the human body. Lead and cadmium accumulate in parenchymal organs, are carcinogenic and affect the morbidity and mortality of the northern population.

**Keywords:** Khangalassky region, lead, cadmium, zinc, maximum permissible concentration (MPC), plants, cryolithzone, North.

**For citation:** Mironova G. E., Grigoryeva A. A. On the content of toxic elements in meadow grasses of rural areas of Khangalassky district. Vestnik of NEFU. 2024, Vol. 21, No. 1. Pp. 5–11. DOI: 10.25587/2222-5404-2024-21-1-5-11

### Введение

Известно, что северные экосистемы характеризуются крайне низкой устойчивостью к антропогенным и техногенным загрязнениям. Пониженная способность криогенных почв к самовосстановлению обусловлена низкой скоростью круговорота веществ, так как многолетнемерзлотный слой затрудняет внутрпочвенный сток и способствует накоплению в надмерзлотном горизонте гумуса и других продуктов почвообразования [1]. Наибольшую опасность в этом отношении представляют тяжелые металлы I класса опасности, такие как мышьяк, свинец, кадмий, ртуть, хром и другие. Попадая в организм животных и человека, они нарушают метаболические процессы и играют немаловажную роль в формировании микроэлементозов и злокачественных образований [2]. Элементный состав обширных северных экосистем изучен недостаточно. Имеющиеся в литературе сведения в основном касаются влияния горнодобывающей промышленности на содержание тяжелых металлов в почве и растениях [3, 4].

Целью настоящего исследования было определение уровня свинца, кадмия и цинка в надземных частях луговых трав, произрастающих в сельской местности Хангаласского района.

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования были луговые травы, которые собирали во время цветения (июль) в сухую солнечную погоду, согласно общепринятым правилам [5]. Материал исследования: уровень свинца, кадмия и цинка в надземных частях, смешанных образцов луговых трав. В смешанный состав луговых трав входили: осока твердоватая – (*Carex*

*duriuscula* С. А. Meyer.), горец птичий – (*Polygonum aviculare* L.), клевер ползучий – (*Trifolium repens* L.), пырей ползучий – (*Elytrigia repens* (L.) Nevski.), лапчатка гусиная – (*Potentilla anserina* L.), лапчатка вильчатая – (*Potentilla bifurca* L.), мятлик луговой – (*Poa pratensis* L.), одуванчик рогоносный – (*Taraxacum ceratophorum* (Ledeb.)), липучка растопыренная – (*Lappula squarrosa* (Retz.) Dumort), лисохвост луговой – (*Alopecurus pratensis* L.), лапчатка прямостоячая – (*Potentilla erecta* L.), герань луговая – (*Geranium pratense* L.), костер безостый – (*Bromopsis inermis* (Leys.) Holub).

Отбор и подготовку смешанных образцов луговых трав проводили по ГОСТу 28168-89, 26929-94 («Сырье и продукты пищевые»). Пробоподготовку растительного сырья проводили методом сухого озоления с последующей экстракцией азотной кислотой, разбавленной (1:1), время экстракции – 24 часа [6].

Концентрацию свинца, кадмия и цинка определяли методом атомно-абсорбционного спектрального анализа (ААС МГА-915) в аккредитованных лабораториях ГБУ «РАПИС МСХиПП РС(Я)» и ГБУ РС (Я) «Якутская республиканская ветеринарно-испытательная лаборатория» (ГОСТ 30178-96, ГОСТ 28168-89), рН в водной вытяжке почвы определяли по ГОСТу 26929-94 [7].

Исследования проводили в с. Техтюр и с. Немюгю (Ой) Хангаласского района, расположенных в Центрально-Якутской биогеохимической провинции. Техтюрский наслег (с. Техтюр) расположен 47 км от центра улуса – г. Покровска. Немюгюнский наслег (Ой) находится в 7 км от центра улуса – г. Покровска. Оба населенных пункта расположены более, чем в 3-х км на левом берегу реки Лена. Выбор указанных населенных пунктов обусловлен отсутствием влияния промышленных предприятий. В селах Техтюр и Немюгю (Ой) пробы надземных частей растений в 5 повторностях были взяты в центре поселков между жилыми домами, в местах с минимальной антропогенной нагрузкой – отсутствием дорог, бытовых отходов (мусора). Чтобы оценить влияние автотранспорта, были взяты надземные части растений, произрастающих в 3 метрах слева и справа от проездной центральной дороги, рядом со школой.

### **Результаты и их обсуждение**

Согласно полученным данным, концентрация свинца в смешанных образцах надземных частей луговых трав колебалась от 0,10 мг/кг до 0,46 мг/кг, цинка – от 21,34 мг/кг до 87,80 мг/кг, а кадмия – от 0,00 мг/кг до 0,01 мг/кг. рН в водной вытяжке почв колебалась в незначительных пределах – от 6,5 до 7,5. Средние значения полученных результатов представлены в таблице.

В таблице также дано среднее квадратичное отклонение (в %), характеризующее степень разброса полученных данных. Следует отметить, что этот статистический показатель свидетельствует о более широком разбросе данных концентрации свинца в пробах, взятых слева от проезжей дороги в с. Техтюр и во всех пробах в с. Немюгю. Значительный разброс уровня цинка в травах, собранных с правой стороны от дороги села Немюгю, требует дальнейшего исследования. Концентрация тяжелых металлов в смешанных образцах надземных частей луговых трав в обоих поселках зависела от места сбора. В с. Техтюр отмечено статистически достоверное снижение уровня свинца в растениях, собранных с левой стороны от дороги. А в Немюгю, напротив – с правой стороны. Содержание цинка было достоверно повышено в травах, собранных справа от дороги в с. Техтюр и слева от дороги в с. Немюгю. Кадмий был обнаружен только в пробах, собранных между жилыми домами. При этом содержание свинца и кадмия в обследованных нами растениях не превышало ПДК. В с. Немюгю уровень свинца и цинка в травах, собранных слева от проездной дороги, был статистически достоверно выше, чем в растениях, собранных в Техтюре (табл.).

Таблица

**Содержание элементов в смешанных образцах надземных частей луговых трав с. Техтюр и с. Немюгю**

Table

**Content of elements in mixed samples of above ground parts of meadow grasses in Tekhtur and Nemyugü**

Тяжелые металлы	ПДК	Места сбора надземных частей растений					
		п. Тэхтюр			п. Немюгю		
		Между домами	Слева от дороги	Справа от дороги	Между домами	Слева от дороги	Справа от дороги
Pb, мг/кг	5,0	0,26±0,02	0,12±0,05*	0,22±0,03	0,15±0,05	0,35±0,08**	0,10±0,05
отклонение, % <sup>3)</sup>		2,2	2,9	1,6	3,0	3,5	3,2
Cd, мг/кг	0,5	0,01±0,00	0,00	0,00	0,01±0,00	0,00	0,00
отклонение, % <sup>3)</sup>		-	-	-	0	0	-
Zn, мг/кг	10-50,0	31,34±0,11	34,49±0,18	61,86±0,20*	50,83±0,18*	85,84±0,21**	42,70±0,40
отклонение, % <sup>3)</sup>		0,6	1,9	0,7	2,6	0,5	9,2

Примечание: 1) \* -  $P < 0,05$ , по сравнению с концентрацией между домами;

2) \*\* -  $P < 0,05$ , по сравнению с концентрацией в населенном пункте Тэхтюр и между домами.

3) – Среднее квадратичное отклонение в %

Представленные в таблице данные свидетельствуют о том, что уровень цинка в некоторых участках превышал ПДК. Наибольшая его концентрация (в 1,7 раза выше ПДК) в растениях обнаружена с левой стороны от дороги в поселке Немюгю.

Разнонаправленный характер накопления свинца и цинка в с. Тэхтюр требует дополнительного исследования. Литературные данные свидетельствуют о том, что на содержание тяжелых металлов в луговых травах влияет рельеф местности [8]. Наличие впадин, бугорков и склонов на поверхности почвы влияет на накопление и миграцию веществ с талыми водами и осадками. Многолетняя мерзлота (криолитозона) и экстремальные климатические факторы Севера способствуют аккумуляции тяжелых металлов. Период полувыведения из почвы цинка составляет до 510 лет, свинца – до нескольких тысяч лет [1]. Почвы Хангаласского района характеризуются мерзлотным типом температурного и водного режимов, обуславливающими низкую скорость и емкость биологического круговорота веществ.

В обследованных нами поселках отсутствуют промышленные предприятия, поэтому основными антропогенными факторами, вносящими вклад в загрязнение почвы и растений, являются автотранспорт и отопительные системы. Роль одного автомобиля в изменении состояния почвы и придорожной растительности невелика, но при регулярном воздействии нескольких транспортных средств она многократно возрастает [9]. Согласно статистическим данным, село Немюгю занимает площадь в 1344,69 км<sup>2</sup> с населением 2235 жителей, тогда как в Тэхтюре с площадью 509,26 км<sup>2</sup> проживает 590 жителей, что в 3,8 раза меньше. Если принять во внимание тот факт, что с каждым днем количество автомобилей увеличивается и что, по статистике, каждый третий житель Якутии имеет автомобиль, то более высокие концентрации цинка, попадающего в окружающую среду в результате истирания автопокрышек, в травах поселка Немюгю можно объяснить влиянием автотранспорта.

На содержание тяжелых металлов в травах, собранных вблизи дорог обследованных нами поселков, например, цинка ( $P < 0,05$ ), вероятно, влияют не только

вышеперечисленные факторы, но и механизм их накопления в надземных органах растений. Микроэлементы поступают в растения главным образом из почвы. Многочисленные исследования доказывают, что между химическим составом растений и элементами, присутствующими в почве, существует тесная связь. Но растения способны выборочно накапливать элементы, поэтому между содержанием тяжелых металлов в почве и содержанием их в растениях прямой зависимости не существует. Согласно литературным источникам, накопителями цинка являются естественная растительность (липучка, разношипник, герань луговая, василек скабиозный), ядовитые растения (пижма, черемица белая). Накапливают цинк и растения, применяемые человеком в качестве продуктов питания: зерно пшеницы, просо, некоторые сорта капусты [10]. В смешанных образцах наших проб имелись липучка и герань луговая.

Кроме того, цинк относится к элементам, хорошо растворимым в почве. С гумусом этот элемент образует устойчивые соединения. Адсорбция цинка почвой зависит от рН. В щелочной среде цинк адсорбируется по механизму хемосорбции, а в кислой среде происходит катионно-обменное поглощение. По нашим данным, рН в водных вытяжках почв с. Немюгю имел слабокислую реакцию (рН=6,5). При рН<7,0 возрастает доля подвижного цинка, способного аккумулироваться в растениях.

Известно, что цинк является незаменимым микроэлементом для всех живых организмов, так как входит в состав многих ферментов и участвует в синтезе нуклеиновых кислот. Цинк необходим для нормального развития яйцеклетки и зародыша растений. Он повышает засухо-, жаро- и холодостойкость растений [11]. Наряду с участием в дыхании, белковом, углеводном и нуклеиновых обменах, цинк регулирует рост, влияет на образование аминокислоты триптофана и повышает содержание фитогормонов. В этой связи повышение концентрации цинка в растениях можно объяснить влиянием стрессирующих климатических факторов Севера. Высокий уровень цинка в луговых травах обусловлен не только воздействием климатогеографических факторов и физиологическими функциями этого элемента в обследованных нами растениях, но и тем, что он аккумулируется в условиях преобладания окислительных процессов.

Однако в высоких концентрациях цинк как все тяжелые металлы значительно подавляет рост растений и усиливает свободно радикальные процессы. Свинец и кадмий не являются эссенциальными элементами для растений. Даже в малых концентрациях они способны замедлять рост растений. Например, при попадании кадмия в количестве 20 мг на 1 кг почвы урожай снижается на 50%. По силе действия кадмий превосходит многие тяжелые металлы [12].

В основе токсического действия свинца, кадмия и высоких концентраций цинка лежит инактивация ферментов, сопровождающаяся нарушением всех метаболических, и физиологических процессов. С одной стороны, эти токсиканты могут заменить эссенциальный металл в кофакторе фермента, с другой стороны, они взаимодействуют с сульфгидрильными группами (-SH) белковых молекул, изменяя их биологическую активность. Эти же эффекты тяжелых металлов нарушают энергетические процессы и работу ионных каналов, так как, связываясь с митохондриальными и мембранными белками, изменяют их конформацию, что приводит к изменению активного и пассивного транспорта.

Относительно недавно было показано, что токсичность тяжелых металлов, к которым относятся свинец, кадмий и цинк, обусловлена нарушением баланса про- и антиоксидантных систем. Тяжелые металлы, увеличивая генерацию активных форм кислорода, вызывают окислительный стресс и, как следствие, усиление процессов перекисного окисления липидов на фоне угнетения синтеза АТФ митохондриями и снижения энергетического потенциала клетки [13, 14].

Следует отметить, что необходимость исследования накопления тяжелых металлов в растениях обусловлена тем, что многие из них используются в народной медицине,

например, горец птичий (*Polygonum aviculare* L.), лапчатка (*Potentilla bifurca* L.), одуванчик рогаосный (*Taraxacum ceratophogum* (Ledeb.) и другие. Попадая в организм человека по пищевой цепи «растения–животные», тяжелые металлы негативно воздействуют на функцию печени, почек, центральную нервную систему, нарушают фосфорно-кальциевый обмен, являются сильнейшими канцерогенами [15, 16].

### Заключение

Таким образом, атомно-абсорбционный спектральный анализ смешанных образцов надземных частей луговых трав, произрастающих в населенных пунктах Техтюр и Немюгю Хангаласского района, показал, что уровень токсических элементов, свинца и кадмия, в них не превышает предельно допустимой концентрации (ПДК). Концентрация цинка в придорожных растениях в обоих поселках превышает ПДК. При этом наибольшая его концентрация (в 1,7 раза выше ПДК) обнаружена в образцах надземных частей луговых трав, растущих с левой стороны от проездной дороги в поселке Немюгю. Одним из основных факторов, которые влияют на накопление свинца и цинка в надземных частях растений, является автотранспорт. Разнонаправленный характер накопления свинца и цинка в поселках Техтюр и Немюгю Хангаласского района требует дальнейшего изучения. Необходимость исследования накопления тяжелых металлов в растениях обусловлена тем, что токсические элементы могут попасть в организм человека по пищевой цепи «растения–животные» и негативно воздействовать на здоровье, кроме того, многие из них используются в народной медицине.

### Литература

1. Саввинов, Д. Д. Микроэлементы в северных экосистемах : на примере Республики Саха (Якутия) / Д. Д. Саввинов, Н. Н. Сазонов. – Новосибирск : Наука, 2006. – 208 с.
2. Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, MR. and Sadeghi, M. (2021) Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Front Pharmacol.* Apr 13;12:643972. doi: 10.3389/fphar.2021.643972.
3. Бурцева, Е. И. Экологические проблемы северных территорий Якутии в условиях промышленного освоения и глобального потепления / Е. И. Бурцева, А. Н. Петрова // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 5. – С. 83–88.
4. Техногенное воздействие на окружающую среду в российской Арктике на примере Норильского промышленного района / Н. В. Юркевич, И. Н. Ельцов, В. Н. Гуреев [и др.] // Известия Томского политехнического университета : Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – Вып. 12. – С. 230–249.
5. ГОСТ 24230-80, ГОСТ 23637-79. Корма растительные. Методы анализа. – Москва, 2002. – 9 с.
6. ГОСТ 26929-94 Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. – Москва : Стандартинформ, 2010.
7. ГОСТ 26423-85 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. – Москва, 2011. 7 с.
8. Медведев, И. Ф. Тяжелые металлы в экосистемах : монография / И. Ф. Медведев, С. С. Деревягин. – Саратов, Ракурс, 2017. – 178 с.
9. Евгеньев, И. В. Автомобильные дороги в окружающей среде / И. В. Евгеньев, Б. Б. Каримов. – Москва : Транснаука, 1997. – 285 с.
10. Головин, А. В. Особенности накопления цинка и никеля некоторыми лекарственными растениями, произрастающими на территориях с различной степенью техногенной нагрузки / А. В. Головин, Л. Н. Скрыпник, Я. А. Масютин // Экосистемы. – 2021. – № 26. – С. 67–77.
11. Жуйкова, Т. В. Разные стратегии адаптации растений к токсическому загрязнению среды тяжелыми металлами (на примере *Taraxacum officinale* S.L.) / Т. В. Жуйкова, В. Н. Позолотина, В. С. Безель // Экология. – 1999. – № 3. – С. 189–196.
12. Fryzova, R., Pohanka, M., Martinkova, P., Cihlarova, H., Brtnicky, M., Hladky, J. and Kynicky, J. (2018). Oxidative Stress and Heavy Metals in Plants. *Rev Environ Contam Toxicol*, 245. pp. 129-156.
13. Varques, V.D. (1994) Cellular and Subcellular distribution of zinc in leaves of *Thlaspi caerulescens*. *Biol. Plant.*, 36 (2). pp. 209-210.

14. Минибаева, Ф. В. Продукция супероксида и активность экстраклеточной пероксидазы в растительных тканях при стрессе / Ф. В. Минибаева, Л. Х. Гордон // Физиология растений. – 2003. – Т. 50. – № 3. – С. 459–464.

15. Asgari Lajayer B, Ghorbanpour M. and Nikabadi, S. (2017) Heavy metals in contaminated environment: Destiny of secondary metabolite biosynthesis, oxidative status and phytoextraction in medicinal plants. *Ecotoxicol Environ Saf.* 145. pp. 377-390.

16. Jaiswal, A., Verma, A., Jaiswal, P. (2018) Detrimental Effects of Heavy Metals in Soil, Plants, and Aquatic Ecosystems and in Humans. / *J Environ Pathol Toxicol Oncol.* 37(3). pp. 183-197.

### References

1. Savvinov, D.D. (2006). *Microelements in northern ecosystems: on the example of the Republic of Sakha (Yakutia)*. Novosibirsk: Nauka, 208 p.

2. Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M.R. and Sadeghi, M. (2021). Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Front Pharmacol.* Apr 13;12:643972. doi: 10.3389/fphar.2021.643972.

3. Burtseva, E.I. (2017). Ecological problems of the northern territories of Yakutia in the conditions of industrial development and global warming. *Uspekhi sovremennoi naukosnosti*, 5, pp. 83-88.

4. Yurkevich, N.V. (2021). Technogenic environmental impact in the Russian Arctic on the example of the Norilsk industrial region. *Proceedings of Tomsk Polytechnic University: Georesources Engineering*, 332(12), pp. 230-249.

5. Vegetable fodders. Methods of analysis. (2002) GOST 24230-80, GOST 23637-79. Moscow, 9 p.

6. Raw materials and food products. Sample preparation. Mineralisation for determination of the content of toxic elements. (2010) GOST 26929-94 Moscow: Standardinform.

7. Soils. Methods of determination of specific electrical conductivity, pH and dense residue of water extract. (2011) GOST 26423-85 Moscow, 7 P.

8. Medvedev, I.F. (2017). *Heavy metals in ecosystems: a monograph*. Saratov: Rakurs, 178 p.

9. Evgeniev, I.V. (1997). *Automobile roads in the environment*. Moscow: Transnauka, 285 p.

10. Golovin, A.V. (2021). Features of zinc and nickel accumulation by some medicinal plants growing on the territories with different degree of anthropogenic load. *Ecosystems*, 26, pp. 67-77.

11. Zhuikova, T.V. (1999). Different strategies of plant adaptation to toxic environmental pollution by heavy metals (on the example of *Taraxacum officinale* S.L.). *Ecology*, 3, pp. 189-196.

12. Fryzova, R., Pohanka, M., Martinkova, P., Cihlarova, H., Brtnicky, M., Hladky, J. and Kynicky, J. (2018). Oxidative Stress and Heavy Metals in Plants. *Rev Environ Contam Toxicol*, 245, pp. 129-156.

13. Varques, V.D. (1994). Cellular and Subcellular distribution of zinc in leaves of *Thlaspi caerulescens*. *Biol. Plant.*, 36(2), pp. 209-210.

14. Miniбаева, F.V. (2003). Superoxide production and activity of extracellular peroxidase in plant tissues under stress. *Plant Physiology*, 50(3), pp. 459-464.

15. Asgari Lajayer, B., Ghorbanpour, M. and Nikabadi, S. (2017). Heavy metals in contaminated environment: Destiny of secondary metabolite biosynthesis, oxidative status and phytoextraction in medicinal plants. *Ecotoxicol Environ Saf.* Nov. 145, pp. 377-390.

16. Jaiswal, A., Verma, A. and Jaiswal, P. (2018). Detrimental Effects of Heavy Metals in Soil, Plants, and Aquatic Ecosystems and in Humans. *J Environ Pathol Toxicol Oncol*, 37(3), pp. 183-197.

---

МИРОНОВА Галина Егоровна – д. б. н., профессор, биологическое отделение ИЕН, СВФУ им. М.К. Аммосова.

E-mail: mirogalin@mail.ru

MIRONOVA Galina Egorovna – Doctor of Biological Sciences, Professor, Biological Department of the Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov NEFU.

ГРИГОРЬЕВА Анастасия Анатольевна – младший научный сотрудник, Арктический медицинский центр Якутского научного центра комплексных медицинских проблем (АМЦ ЯНЦ КМП).

E-mail: Nastigrigoryeva@gmail.com

GRIGORIEVA Anastasia Anatolyevna – Junior Researcher, Arctic medical center of the Yakut Science center for complex medical problems (AMC YSC CMP).