

DOI: 10.15593/2409-5125/2021.02.08

УДК 631.416.3

Е.С. Закамская, У.Г. Максимова

Марийский государственный университет

ХЕМОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРИДОВ В УРБАНОЗЕМАХ ГОРОДА ЙОШКАР-ОЛЫ

Представлены результаты изучения степени загрязнения урбаноземов ионами хлора как последствия антигололедных мероприятий, вблизи проезжей части и пешеходных дорожек в разных функциональных зонах г. Йошкар-Олы. Одним из факторов, приводящих к негативным последствиям на территории населенных пунктов, является применение в зимний период антигололедных реагентов, что ведет к засолению почвогрунтов. В качестве основного противогололедного реагента на территории г. Йошкар-Олы используется песко-соляная смесь, в состав которой входят соли соляной кислоты – хлориды. Исследования проводились в весенний и осенний периоды в трех функциональных зонах города – селитебной, промышленной и рекреационной. Отбор проб, пробоподготовку и определение содержания хлоридов аргентометрическим методом по Мору проводили согласно актуальной нормативной документации.

В урбаноземах на территории г. Йошкар-Олы содержание хлорид-ионов в придорожных полосах и газонах варьируется от 0,06 до 0,29 %. По убыванию этого показателя функциональные зоны располагаются следующим образом: селитебная > рекреационная > промышленная. Весной, после снеготаяния, концентрация хлоридов статистически значимо выше, чем в осенний период. Между концентрацией хлоридов в разные сезоны наблюдается линейная зависимость, $R^2 = 0,94$; $P < 0,0001$. Трехфакторный дисперсионный анализ позволил установить, что концентрация хлорид-ионов в урбаноземах г. Йошкар-Олы зависит от функциональной зоны, сезона и взаимодействия факторов и не зависит от территории в пределах зоны.

Согласно классификации почв по степени засоления хлоридами урбаноземы селитебной и рекреационной зон являются незасоленными или слабозасоленными, промышленной – незасоленными, что свидетельствует о том, что применение песко-солевой смеси как антигололедного реагента на территории г. Йошкар-Олы не приводит к солевой нагрузке на почвогрунты.

Ключевые слова: урбаноземы, антигололедные реагенты, хлориды, функциональные зоны, сезонная динамика.

Введение. В пределах населенных пунктов согласно Градостроительному кодексу РФ (№ 190-ФЗ)¹, Своду правил СП 42.13330.2016² «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» выделяются различные зоны по их функциональному назначению (функ-

¹ Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 дек. 2004 г. № 190-ФЗ (с изм. от 20.03.2011 г.) // Российская газета. 2004. 30 декабря; 2011 – 25 марта.

² СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01–89. Введ. 20.05.11. М.: Минрегион России, 2011. 110 с.

циональные зоны): жилые (селитебные), промышленные, рекреационные и т.д. В пределах селитебных зон размещаются жилые здания, социально-культурные, коммунальные объекты, а также небольшие производства, которые не оказывают негативного воздействия на окружающую среду. В промышленных зонах находятся производственные, складские объекты. Рекреационные зоны предназначены для отдыха населения, занятий физической культурой и спортом (СП 42.13330.2016). Город представляет собой урбоэкосистему, в которой взаимодействуют природные и техногенные составляющие, в результате чего формируется природно-техногенный комплекс [1]. Антропогенное воздействие испытывают все среды жизни. Мы остановимся лишь на одном аспекте – влиянии антигололедных реагентов на почвенную среду.

Термин «городские почвы» впервые ввел Джеймс Бокхайм (1974) [2]. В методических указаниях по оценке городских почв при разработке градостроительной и архитектурно-строительной документации городские почвы трактуются как «почвы городских территорий, имеющие созданный человеком поверхностный слой мощностью более 50 см, полученный перемешиванием, погребением или загрязнением естественной природной почвы непочвенными материалами и привозным органосодержащим грунтом». Городские почвы отличаются от природных почв физико-химическими и агрохимическими свойствами [3], и, таким образом, на антропогенно нарушенных грунтах формируются урбаноземы.

Урбаноземы загрязняются различными химическими соединениями, поступающими в результате работы двигателей внутреннего сгорания автотранспорта, промышленных предприятий и коммунально-бытового сектора. Эти соединения накапливаются и приводят к постепенному изменению химических и физических свойств почвы, ухудшают ее плодородие [4].

Одним из факторов, приводящих к негативным последствиям на территории населенных пунктов, является применение в зимний период антигололедных реагентов, что ведет к засолению почвогрунтов. Есть сведения о том, что вдоль автодорог и в селитебных районах соли, постоянно поступающие с реагентами, сохраняются в почве до следующего зимнего периода [5, 6]. Засолением охвачены даже почвы, находящиеся вне основной зоны поступления реагентов, удаленные от тротуаров на 3–20 м [5].

В качестве основного противогололедного реагента на территории г. Йошкар-Олы используется песко-соляная смесь, в состав которой входят соли соляной кислоты – хлориды. Высокая концентрация хлоридов в почве может оказывать подавляющее влияние на метаболизм растений, нарушая клеточный гомеостаз и основные физиологические и биохимические процессы. Соленость вызывает как осмотический стресс, так и ион-

ную токсичность, которые препятствуют продуктивности растений, подавляя или изменяя их рост, разделение сухого вещества, прорастание семян, фотосинтез и урожайность [7–10].

В связи с этим целью проводимых работ являлось изучение степени загрязнения урбаноземов ионами хлора как результата антигололедных мероприятий вблизи проезжей части и пешеходных дорожек в разных функциональных зонах города Йошкар-Олы.

Материал и методы исследования. Город Йошкар-Ола является столицей Республики Марий Эл, располагается в центральной части Марийской низменности, рельеф равнинный, с небольшими перепадами высот³. Климат умеренно-континентальный, почвы дерново-подзолистые, суглинистые, слабокислые или нейтральные⁴.

Материалом исследования послужили урбаноземы трех функциональных зон города Йошкар-Олы (рис. 1):

1. Селитебная (жилая) зона (улицы: Красноармейская (1), Машиностроителей (2), Осипенко (3), Рябина (4), Первомайская (5)).

2. Промышленная зона (улицы: Суворова (АО «ММЗ» – 6, АО «ЗПП» – 7), Карла Маркса (ОАО «Марбиофарм» – 8, АО «Контакт» – 9), Крылова (АО «Завод Искож» – 10)).

3. Зона рекреации (Первомайская – ЦПКиО им. XXX-летия ВЛКСМ (11), Волкова – Сквер им. Натты Бабушкиной (12), Аллея здоровья (13)).

Исследования проводили в осенний и весенний периоды 2019 г.

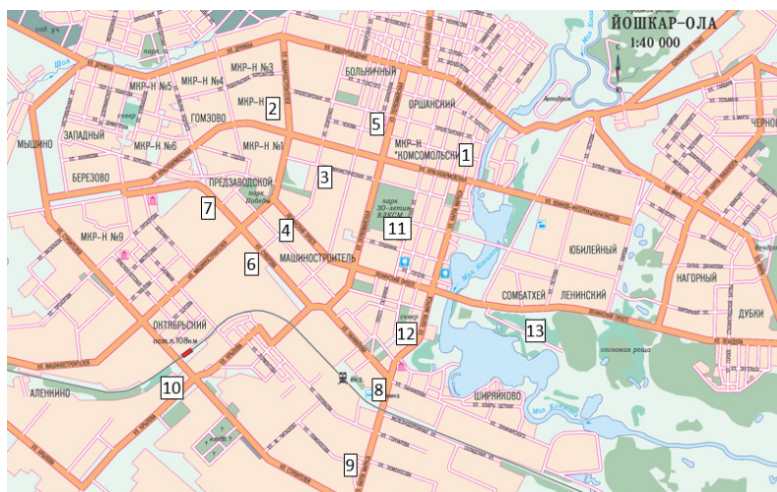


Рис. 1. Расположение районов исследования на карте г. Йошкар-Олы

³ Природные условия г. Йошкар-Олы [Электронный ресурс]. URL: https://i-ola.ru/city/ecologia/prirod_usl.php (дата обращения: 19.01.2021)

⁴ Эколого-географический атлас Республики Марий Эл. URL: <http://geo12.pф/atlas>.

Отбор проб почвы проводили согласно ГОСТ 28168–89. «Почвы. Отбор проб»⁵. Точечные пробы почвы отбирали почвенным буром на глубину гумусо-аккумулятивного горизонта. Из точечных проб для каждого района составляли объединенную пробу путем их смешивания (масса не менее 1 кг).

Подготовку почвенных проб для последующего анализа проводили по ГОСТ 17.4.4.02–2017 «Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа»⁶. Почвы в лаборатории рассыпали на бумаге и разминали пестиком крупные комки, затем удаляли включения. Почву растирали в ступке пестиком и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм. Просеянную почву разравнивали, разделяли диагональю на квадраты, из разных частей отбирали в количестве, необходимом для анализа.

Хлорид-ионы определяли аргентометрическим методом по Мору. по ГОСТ 26425–85 «Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке»⁷. В качестве индикатора применяли раствор хромата калия, который вызывает переход окраски раствора от желтого к красно-бурому цвету.

Степень засоления оценивали согласно классификации почв по степени засоления (табл. 1).

Таблица 1

Группировка почв по степени засоления [11]

Степень засоления почв	Сумма токсичных солей, %
Незасоленные	<0,15
Слабозасоленные	0,15–0,3
Среднезасоленные	0,3–0,6
Сильнозасоленные	0,6–1,4 (1,0)*
Очень сильно засоленные	>1,4 (1,0)

Статистическую обработку данных проводили с использованием приложения MS Excel и программного пакета Statistica 6.0.

Результаты и обсуждения. Содержание в урбаноземах хлорид-ионов на территории г. Йошкар-Олы в придорожных полосах и газонах трех функциональных зон: рекреационной, селитебной и южной промышленной – варьируется от 0,06 до 0,29 %.

⁵ ГОСТ 28168–89. Почвы. Отбор проб. М.: Изд-во стандартов, 1989. 7 с.

⁶ ГОСТ 17.4.4.02–2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2017. 12 с.

⁷ ГОСТ 26425–85. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке. М., 1985. 9 с.

На рис. 2 представлен график содержания в почве селитебной зоны ионов хлора в осенний и весенний периоды. Содержание хлоридов в почве варьировалось от 0,13 до 0,25 % в осенний период и от 0,17 до 0,29 % – в весенний. По степени засоленности урбаноземы этой зоны относятся к незасоленным или слабозасоленным. Все улицы по данному показателю можно разделить на две группы: 1 – Первомайская, Осипенко; 2 – Красноармейская, Машиностроителей, Рябинина. Между группами разница по содержанию хлоридов в почве статистически значима ($P < 0,001$), внутри групп разницы нет. Как мы видим, содержание хлорид-ионов осенью меньше, чем весной. Разница по данному показателю между сезонами статистически значима для улиц Осипенко, Первомайская, Машиностроителей ($P < 0,05$) и не значима для улиц Рябинина и Красноармейская.

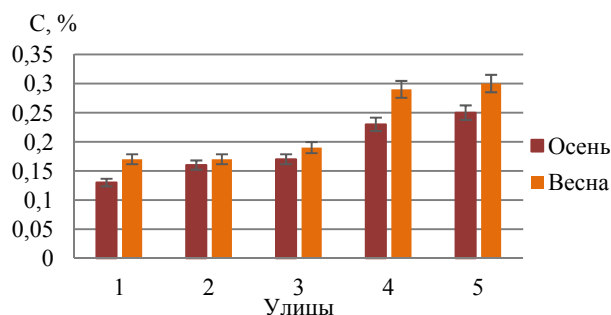


Рис. 2. Содержание хлорид-ионов в урбаноземах селитебной зоны: 1 – Машиностроителей; 2 – Красноармейская; 3 – Рябинина; 4 – Первомайская; 5 – Осипенко

Содержание ионов хлора в почвенных пробах промышленной зоны в осенний период составило 0,06–0,11 %, в весенний период – 0,1–0,13 % (рис. 3). Урбаноземы этой функциональной группы относятся к категории незасоленных.

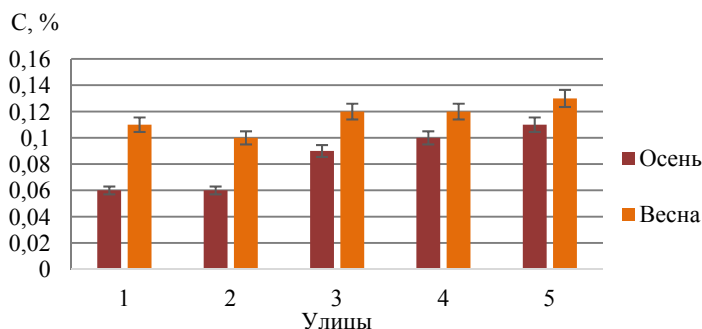


Рис. 3. Содержание хлорид-ионов в урбаноземах промышленной зоны: 1 – Суворова (6); 2 – Крылова; 3 – Карла Маркса (8); 4 – Карла Маркса (9); 5 – Суворова (7)

В осенний период по содержанию хлоридов исследуемые районы можно разделить на две группы: 1 – пробы, взятые на улицах Суворова (7) и Карла Маркса; 2 – пробы, взятые на улицах Суворова (6) и Крылова. Между группами разница статистически значима, внутри групп разницы нет.

Содержание ионов хлора в почвогрунтах рекреационной зоны варьировало в пределах 0,14–0,18 % (рис. 4), что позволяет отнести их к незасоленным или слабозасоленным. Разница между районами внутри зоны не статистически не значима.

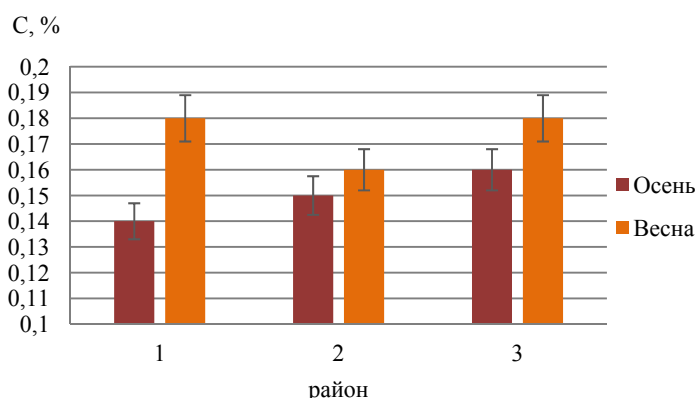


Рис. 4. Содержание хлорид-ионов в урбаноземах рекреационной зоны: 1 – аллея здоровья; 2 – Парк культуры; 3 – сквер им. Наты Бабушкиной

Сравнивая засоленность урбаноземов разных функциональных зон, можно видеть, что в селитебной зоне она выше, чем в рекреационной и промышленной. Это связано с тем, что в селитебных зонах в зимний период на тротуары наносят антигололедные реагенты в большем количестве, чем в промышленной зоне.

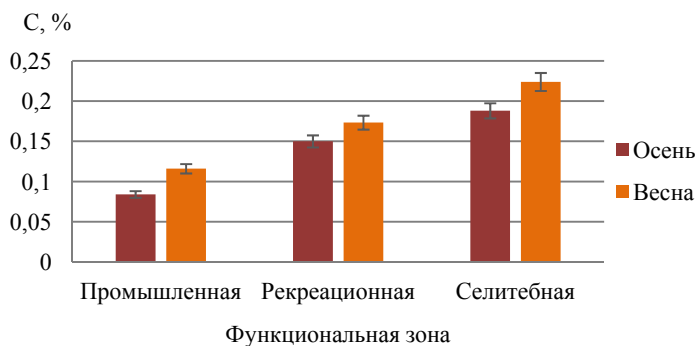


Рис. 5. Содержание хлорид-ионов в урбаноземах функциональных зон

Анализируя сезонную динамику содержания хлоридов в урбаноземах, можно видеть, что в весенний период этот показатель выше, чем в осенний. В весенний период, после таяния снега, ионы хлора еще остаются на верхнем горизонте почвы. Соли хлора хорошо растворимы в воде, поэтому имеют высокую миграционную способность [12], к осени они вымываются в нижние горизонты почвы [13]. Между концентрацией хлоридов в разные сезоны наблюдается линейная зависимость ($y = 1,0505x + 0,0245$, $R^2 = 0,94$, $P < 0,0001$).

Трехфакторный дисперсионный анализ позволил установить, что концентрация хлорид-ионов в урбаноземах г. Йошкар-Олы зависит от функциональной зоны, сезона и взаимодействия факторов и не зависит от территории в пределах зоны (табл. 2).

Таблица 2

Результаты дисперсионного анализа содержания хлоридов
в урбаноземах

Показатель	Степени	MS	F	p
Св. член	1	20416,67	2277,893	0,000001
Зона	2	1710,89	190,884	0,000001
Улица	2	0,89	0,099	0,905832
Сезон	1	163,630	18,256	0,000135
Зона*улица	4	26,44	2,950	0,033067
Зона*сезон	2	29,41	3,281	0,049097
Улица*сезон	2	44,74	4,992a	0,012207
Зона*улица*сезон	4	13,85	1,545	0,209915
Ошибка	36	8,96		

Заключение. В урбаноземах на территории г. Йошкар-Олы содержание хлорид-ионов в придорожных полосах и газонах варьируется от 0,06 до 0,29 %. По убыванию этого показателя функциональные зоны располагаются следующим образом: селитебная > рекреационная > промышленная. Весной, после снеготаяния, концентрация хлоридов статистически значимо выше, чем в осенний период.

Согласно классификации почв по степени засоления хлоридами урбаноземы селитебной и рекреационной зон являются незасоленными или слабозасоленными, промышленной – незасоленными, что свидетельствует о том, что применение песко-солевой смеси как антигололедного реагента на территории г. Йошкар-Олы не приводит к солевой нагрузке на почвогрунты.

Библиографический список

1. Дубровская С.А. Экологическое зонирование городских территорий // Вопросы степеведения. – 2014. – Т. XII. – С. 42–48.
2. Bockheim J.G. Nature and properties of highly-disturbed urban soils, Philadelphia, Pennsylvania // Paper presented before Division S-5, Soil Genesis, Morphology and Classification, Annual Meeting of the Soil Science Society of America. – Chicago: IL. – 1974. – 35 p.
3. Гасимова Л.С. Современное состояние урбаноземов в ядре агломерации Баку // Бюллетень науки и практики. – 2019. – № 3. – С. 128–134.
4. Тригуб В.И. Городские почвы как особый вид почв // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. – 2011 – № 2–1. – С. 321–325.
5. Кулакова Н.Ю., Шабанова Н.П. Засоление почв – одна из проблем городского озеленения // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2019. – № 54. – С. 127–131.
6. Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Власов Д.В. Мониторинг засоления снега и почв Восточного округа Москвы противогололедными смесями // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11-2. – С. 340–347.
7. Белова Т.А., Кравченко А.С. Физиологические основы адаптации растений к воздействию солевого стресса [Электронный ресурс] // Auditorium. – 2018. – № 1 (17). – Р. 6. URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2011/035.pdf> (дата обращения: 21.01.2021).
8. Веселов Д.С., Маркова И.В., Кудоярова Г.Р. Реакция растений на засоление и формирование солеустойчивости // Успехи современной биологии. – 2007. – Т. 127, № 5. – С. 482–493.
9. Hasanuzzaman M., Nahar K., Fujita M. Plant Response to Salt Stress and Role of Exogenous Protectants to Mitigate Salt-Induced Damages // Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress. – New York, NY: Springer, 2013 – P. 25–87. – URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4747-4_2
10. Potential Use of Halophytes to Remediate Saline Soils / M. Hasanuzzaman [et al.] // BioMed Research International – 2014: doi.org/10.1155/2014/589341.
11. Базилевич Н.И., Панкова Е.И. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюл. почв ин-та им. В.В. Докучаева. – 1972. – Вып. V. – С. 36–40.
12. Конарбаева Г.А., Якименко В.Н. Содержание и распределение галогенов в почвенном профиле естественных и антропогенных экосистем юга Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2012. – № 4 (20) – С. 21–35.
13. Герасимов А.О., Чугунова М.В., Поляк Ю.М. Сезонные изменения содержания противогололедных средств в дерново-подзолистой почве в лабораторном и полевом экспериментах // Биосфера. – 2019. – № 4. – С. 171–177.

References

1. Dubrovskaya S.A. Ekologicheskoe zonirovaniye gorodskih territorij [Ecological zoning of urban areas] *Steppe Science*, 2014, Vol. 12, pp. 42–48.
2. Bockheim J.G. Nature and properties of highly-disturbed urban soils, Philadelphia, Pennsylvania / J.G. Bockheim // Paper presented before Division S-5, Soil Genesis, Morphology and Classification, Annual Meeting of the Soil Science Society of America. – Chicago: IL, 1974. – 35 p.
3. Gasymova L.S. Sovremennoe sostoianie urbanozemov v iadre aglomeratsii Baku [The current state of urban soils in the core of baku's agglomeration] *Bulletin of Science and Practice*. 2019, no 3, pp. 128–134
4. Trigub V.I. Gorodskie pochvy kak osobyi vid pochv [City soils as a special kind of soils] *Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. Series: Geography*. 2011, vol. 24 (63), no. 2, pp. 321–325
5. Kulakova N.Iu., Shabanova N.P. Zasoleniye pochv – odna iz problem gorodskogo ozeleneniia [Soil salinization – one of the urban greening problem] *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2019, no. 54, pp. 127–131
6. Nikiforova E.M., Kosheleva N.E. Vlasov D.V. Monitoring zasoleniia snega i pochv Vostochnogo okruga Moskvyy protivogololednymi smesiami [Monitoring of snow and soils salinization by de-icing compounds in eastern administrative okrug of Moscow] *Fundamental Research*. 2014, no. 11-2. pp. 340–347

7. Belova T.A., Kravchenko A.S. Fiziologicheskie osnovy adaptatsii rastenii k vozdeistviu solevogo stressa [Physiological foundations for adapting plants to salt stress]. *Auditorium*, 2018, no. 1 (17), available at: <https://auditorium.kursku.ru/#new-number?id=70>. (accessed 21 January 2021).

8. Veselov D.S., Markova I.V., Kudoiarova G.R. Reaktsiia rastenii na zasolenie i formirovanie soleustoichivosti [A Response of Plants to Salinization and Formation of Salt Tolerance] *Uspekhi sovremennoi biologii*, 2007, vol.127, no. 5, pp. 482-493

9. Hasanuzzaman M., Nahar K., Fujita M. Plant Response to Salt Stress and Role of Exogenous Protectants to Mitigate Salt-Induced Damages. // *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress*. Springer, New York, NY. 2013, pp. 25–87. DOI: [org/10.1007/978-1-4614-4747-4_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4747-4_2)

10. Hasanuzzaman M, Nahar K, Alam MdM, Bhowmik PC, Hossain MdA et al. Potential use of halophytes to remediate saline soils. *BioMed Research International* 2014: 1-12. DOI: 10.1155/2014/589341

11. Bazilevich N.I., Pankova E.I. Opyt klassifikatsii pochv po sodержaniyu toksichnykh solei i ionov [Experience of soil classification according to the content of toxic salts and ions] *Dokuchaev Soil Bulletin*. 1972, iss. 5, pp. 36-40.

12. Konarbaeva G.A., Iakimenko V.N. Soderzhanie i raspredelenie galogenov v pochvennom profile estestvennykh i antropogennykh ekosistem iuga Zapadnoi Sibiri [Content and distribution of halogens in soil profile of natural and man-made ecosystems in the south of Western Siberia]. *Tomsk State University Journal of Biolog*, 2012, no. 4 (20), pp. 21-35.

13. A.O. Gerasimov, M.V. Chugunova, Y.M. Polyak Sezonny'e izmeneniya sodержaniya protivogolodny`x sredstv v dernovo-podzolistoj pochve v laboratornom i polevom e`ksperimentax [The seasonal changes in the content of de-icing salts in sod-podzol soil in laboratory and field experiments] // *Biosfera*. 2019, no. №4. pp. 171-177

Получено 19.02.2021

E. Zakamskaya, U. Maksimova

CHEMOMETRIC EVALUATION OF CHLORIDE CONTENT IN URBAN SOILS OF THE CITY OF YOSHKAR-OLA

The paper presents the results of studying the degree of contamination of urban soils with chlorine ions that appear as a result of anti-ice measures, near the roadways and footpaths in different functional zones of the city of Yoshkar-Ola. One of the factors leading to negative environmental consequences on the territory of settlements is the use of anti-ice reagents in winter that leads to soil salinization. As the main deicing agent on the territory of Yoshkar-Ola, a salt mixture is used, which includes hydrochloric acid salt – chlorides. The studies were carried out in the spring and autumn periods in three functional zones of the city including residential area, industrial and recreational zones. Sampling, sample preparation and determination of chloride content by argentometric method according to Mohr were carried out in accordance with the current regulatory documents.

In urban soils on the territory of Yoshkar-Ola, the content of chloride ions in the roadside strips and lawns varies from 0.06% to 0.29%. In descending order of this indicator, the functional zones were arranged as follows: residential > recreational > industrial. In spring, after snowmelt, the concentration of chlorides is statistically significantly higher than in autumn. There is a linear relationship between the concentration of chlorides in different seasons, $R^2 = 0.94$; $P < 0.0001$. Three-factor dispersion analysis made it possible to establish that the concentration of chloride ions in the urban soils of Yoshkar-Ola depends on the functional zone, season and interaction of factors and does not depend on the territory within the zone.

According to the classification of soils in accordance with the degree of chloride salinization, urban soils of the residential and recreational zones are non-saline or slightly saline, industrial – non-saline, which indicates that the use of a sand-salt mixture as an anti-ice reagent on the territory of Yoshkar-Ola does not lead to a salt load on the soils.

Keywords: urban soils, anti-ice reagents, chlorides, functional zones, seasonal dynamics

Закамская Елена Станиславовна (Йошкар-Ола, Россия) – канд. биол. наук, доцент кафедры экологии, Марийский государственный университет (424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1, e-mail: zakamskay@mail.ru).

Максимова Ульяна Георгиевна (Йошкар-Ола, Россия) – магистрант кафедры экологии, Марийский государственный университет (424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1, e-mail: ulyasha-280496@inbox.ru).

Elena Zakamskaya (Yoshkar-Ola, Russian Federation) – Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor, Department of Ecology, Mari State University (424000, Republic of Mari El, Yoshkar-Ola, Lenin Sq., 1, e-mail: zakamskay@mail.ru).

Ulyana Maksimova (Yoshkar-Ola, Russian Federation) – Master Student, Department of Ecology, Mari State University (424000, Republic of Mari El, Yoshkar-Ola, Lenin Sq., 1, e-mail: ulyasha-280496@inbox.ru).