Научная статья/Research Article
УДК 630.114:630.73
DOI: 10.36718/1819-4036-2024-2-14-21

Светлана Ивановна Штельмах[1✉], **Марина Валерьевна Данилова**[2]
[1,2]Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия
[1]fotina78@gmail.com
[2]maridan@crust.irk.ru

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИЙ СОЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ ИСКУССТВЕННОГО НАСАЖДЕНИЯ ЕЛЕЙ В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ

Цель исследований – изучить сезонную динамику концентраций солей и установить взаимосвязи между концентрациями токсичных солей в техногенной почве, соотношением содержаний различных солей и физиологическим состоянием двух декоративных видов елей, таких как карликовая ель Picea Canadensis Conica и голубая колючая ель Picea Pungens Glauca, произрастающих на данной почве в урбанизированной среде. Выращивание производится с 2016 г. без применения удобрений на песчаной сильнокаменистой техногенной почве с мощностью профиля около 40 см. Полив осуществляется только дождевой водой. Участок расположен в селитебной зоне Октябрьского района г. Иркутска (Иркутская область). В результате проведенных исследований в техногенной почве выявлены сезонные колебания концентраций карбонатов ($CaCO_3$, $MgCO_3$, $FeCO_3$), а также водорастворимых минеральных солей, как нетоксичных ($Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$), так и токсичных ($Mg(HCO_3)_2$, $MgSO_4$, Na_2SO_4, $NaCl$, $MgCl_2$). Установлены взаимосвязи между суммарными концентрациями токсичных солей магния ($MgSO_4$, $MgCl_2$), $CaCO_3$: $MgCO_3$ в почве и физиологическим состоянием карликовых елей Picea Canadensis Conica, которые подвержены солнечным ожогам хвои в весенний период (март, апрель). В почве, отобранной из приствольных кругов здоровых елей данного вида, $CaCO_3$: $MgCO_3$ изменяется от 2 : 1 до 3,8 : 1. Голубые колючие ели Picea Pungens Glauca относятся к одному из устойчивых видов к условиям произрастания в урбанизированной среде. Увеличение суммарной концентрации токсичных солей магния ($MgSO_4$, $MgCl_2$) после окончания вегетационного периода, а также резкие колебания $CaCO_3$: $MgCO_3$ от 6,6 : 1 до 1,3 : 1 не отразились на физиологическом состоянии голубых колючих елей Picea Pungens Glauca.

Ключевые слова: *древесные растения, техногенная почва, засоление почв, токсичные соли, урбанизированная среда*

Для цитирования*: Штельмах С.И., Данилова М.В.* Сезонная динамика концентраций солей на территории искусственного насаждения елей в урбанизированной среде // Вестник КрасГАУ. 2024. № 2. С. 14–21. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-2-14-21.

Благодарности**:** авторы статьи выражают благодарность ведущему инженеру Л.А. Дурбан за определение общей минерализации в образцах дождевой воды. В работе применялось оборудование Центра коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук в рамках гранта № 075-15-2021-682.

Svetlana Ivanovna Shtelmakh[1✉], **Marina Valerievna Danilova**[2]
[1,2]Institute of the Earth's Crust, SB of the RAS, Irkutsk, Russia
[1]fotina78@gmail.com
[2]maridan@crust.irk.ru

© Штельмах С.И., Данилова М.В., 2024
Вестник КрасГАУ. 2024. № 2. С. 14–21.
Bulliten KrasSAU. 2024;(2):14–21.

SALT CONCENTRATIONS SEASONAL DYNAMICS IN THE ARTIFICIAL SPRUCE PLANTS TERRITORY IN AN URBANIZED ENVIRONMENT

The purpose of research is to study the seasonal dynamics of salt concentrations and establish relationships between the concentrations of toxic salts in technogenic soil, the ratio of the contents of various salts and the physiological state of two ornamental spruce species, such as dwarf spruce Picea Canadensis Conica and blue prickly spruce Picea Pungens Glauca, growing on this soil in an urbanized environment. Cultivation has been carried out since 2016 without the use of fertilizers on sandy, highly stony technogenic soil with a profile thickness of about 40 cm. Irrigation is carried out only with rainwater. The site is located in the residential zone of the Oktyabrsky District of Irkutsk (Irkutsk Region). Seasonal fluctuations in the concentrations of carbonates ($CaCO_3$, $MgCO_3$, $FeCO_3$), as well as water-soluble mineral salts, both non-toxic ($Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$) and toxic ($Mg(HCO_3)_2$, $MgSO_4$, Na_2SO_4, NaCl, $MgCl_2$) were identified in technogenic soil as a result of research. Relationships have been established between the total concentrations of toxic magnesium salts ($MgSO_4$, $MgCl_2$), $CaCO_3$: $MgCO_3$ in the soil and the physiological state of dwarf spruce trees Picea Canadensis Conica, which are susceptible to sunburn of needles in the spring (March, April). In the soil selected from the trunk circles of healthy spruce trees of this species, $CaCO_3$: $MgCO_3$ varies from 2 : 1 to 3.8 : 1. Blue prickly spruces Picea Pungens Glauca is one of the species resistant to growing conditions in an urbanized environment. The increase in the total concentration of toxic magnesium salts ($MgSO_4$, $MgCl_2$) after the end of the growing season, as well as sharp fluctuations in $CaCO_3$: $MgCO_3$ от 6,6 : 1 до 1,3 : 1, did not affect the physiological state of the blue spruce Picea Pungens Glauca.

***Keywords**: woody plants, technogenic soil, soil salinization, toxic salts, urban environment*

***For citation:** Shtel'mak S.I., Danilova M. V.* Salt concentrations seasonal dynamics in the artificial spruce plants territory in an urbanized environment // Bulliten KrasSAU. 2024;(2): 14–21. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-2-14-21.

***Acknowledgments*:** the authors of the article express their gratitude to the leading engineer L.A. Durban for determining total salinity in rainwater samples. The work used the equipment of the Center for Collective Use "Geodynamics and Geochronology" of the Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences within the framework of grant № 075-15-2021-682.

Введение. Засоление почв представляет собой процесс накопления более 0,25 % от массы почвы водорастворимых минеральных солей, как нетоксичных ($Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$), так и токсичных (Na_2CO_3, $NaHCO_3$, $Mg(HCO_3)_2$, $MgSO_4$, Na_2SO_4, NaCl, $MgCl_2$, $CaCl_2$), как правило, в корнеобитаемом верхнем слое [1]. Токсичные соли образуют следующий ряд по степени токсичности по десятибалльной шкале: Na_2SO_4 – 1; $NaHCO_3$ – 3; $MgSO_4$ – 3–5; $MgCl_2$ – 3–5; NaCl – 5–6; Na_2CO_3 – 10 [1]. Водорастворимые соли в почвах увеличивают их физиологическую сухость, при этом вода засоленных почв для многих растений оказывается недоступной вследствие высокого осмотического давления почвенного раствора [2]. В работе [3] показано негативное влияние хлорида и сульфата калия, внесенных в качестве удобрений в почву, на физиологическое состояние ели и сосны в осушаемых древостоях и на суходольных почвах в северотаежных фитоценозах. Карбонаты кальция и магния уменьшают почвенную кислотность и повышают значения pH почв. При значениях pH более 7,5 происходят затруднения в усвоении растениями некоторых элементов питания, таких как марганец, железо, цинк и медь [4]. Несмотря на это, в работах [5, 6] показана высокая агроэкологическая эффективность известкования почв, отмечается положительное действие на растения кальцийсодержащих отходов промышленности в качестве удобрений, содержащих известь [5], а также природных материалов, обогащенных кальцием и магнием [7–9].

Цель исследования – изучить сезонную динамику концентраций солей и установить взаимосвязи между концентрациями токсичных солей в техногенной почве, соотношением содержаний различных солей и физиологическим состоянием двух декоративных видов елей, таких как карликовая ель *Picea Canadensis Conica* и голубая колючая ель *Picea Pungens Glauca*, произрастающих на данной почве в урбанизированной среде.

Объекты и методы. Изучена сезонная динамика концентраций солей в техногенной почве, на которой с 2016 г. производится выращивание двух видов декоративных елей, указанных выше. Выращивание древесных растений производится

без применения удобрений, их полив производится только дождевой водой. Участок расположен в селитебной зоне Октябрьского района г. Иркутска (Иркутская область).

Отбор проб техногенной почвы для определения гранулометрического и химического состава проведен методом конверта в летний период. Гранулометрический состав почвы определен ситовым методом [10]. Химический состав (концентрации породообразующих оксидов Na_2O, MgO, Al_2O_3, SiO_2, P_2O_5, K_2O, CaO, TiO_2, MnO, $Fe_2O_{3(общ)}$, а также $S_{(общ)}$ и Cl) определен методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) с помощью спектрометра S8 TIGER (Bruker AXS, Германия) [11]. Потери при прокаливании определены при 1000 °С. Концентрация органического углерода ($C_{орг.}$) определена методом И.В. Тюрина [12]. Отбор проб для получения и анализа водных и солянокислых почвенных вытяжек проведен с глубины 5 см из нескольких точек у стволов исследуемых молодых елей двух видов возрастом 5–7 лет.

Пробы почвы отбирались в 2019 г. несколько раз: до наступления вегетационного периода, в апреле, после схода снежного покрова, затем в середине периода, в июле, а также после его окончания, в октябре, до установления снежного покрова. Следует отметить, что зима 2018–2019 гг. была очень холодной и малоснежной, в марте 2019 г. температура была выше нормы на несколько градусов, на карликовых елях *Picea Canadensis Conica* было зафиксировано больше ожогов, чем в предыдущие годы. В водных вытяжках определение концентраций ионов выполнено по стандартным методикам [12]: ионов HCO_3^- – методом титрования раствором H_2SO_4 с метиловым оранжевым, ионов Cl^- – аргентометрическим методом Мора, ионов SO_4^{2-} – гравиметрическим (весовым) методом, ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} – комплексометрическим методом, ионов Na^+ – методом фотометрии пламени. Проведен расчет общего содержания водорастворимых солей ($S_{вр}$). Значения pH образцов почв установлены в водных вытяжках потенциометрическим методом с помощью иономера ЭВ-74, так как возникают трудности при определении pH в суспензии, связанные с необходимостью устранения влияния диффузионного потенциала. Общее содержание карбонатов ($S_{кр}$), концентрации $CaCO_3$, $MgCO_3$ и $FeCO_3$ были рассчитаны по полученным содержаниям CaO, MgO и FeO из солянокислых вытяжек, приготовленных из отобранных образцов почвы. Определение концентраций CaO было проведено объемным оксалатным методом, содержаний MgO – весовым фосфатным методом, концентраций FeO – с применением сульфосалициловой кислоты [12]. В пробах дождевой воды определение концентраций ионов выполнено с помощью следующих методов [13]: ионов HCO_3^- – методом титрования раствором HCl с метиловым оранжевым, ионов Cl^- – меркуриметрическим титрованием, ионов SO_4^{2-} – нефелометрическим методом, ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} – комплексометрическим методом, ионов K^+ и Na^+ – атомно-абсорбционным методом.

Результаты и их обсуждение. По гранулометрическому составу исследуемая техногенная почва относится к сильнокаменистым песчаным почвам согласно классификации Н.А. Качинского [14], поскольку содержание фракции (> 3 мм) составляет 18 %, фракция (3–1) мм – 24,75, крупнопесчаная фракция (1–0,5 мм) – 9,87, крупно-среднепесчаная фракция (0,50–0,25 мм) – 32,99, фракция (0,25–0,1 мм) – 9,87 %. Суммарное содержание фракций с размером частиц более 0,1 мм составляет 95,48 %. В химическом составе исследуемой техногенной почвы выявлены следующие концентрации породообразующих оксидов (%): SiO_2 – 61,29, Al_2O_3 – 11,36, Na_2O – 2,50, K_2O – 2,48, CaO – 2,20, MgO – 1,19, TiO_2 – 0,438, MnO – 0,074, $Fe_2O_{3(общ)}$ – 3,168, P_2O_5 – 0,512 соответственно. Содержание $S_{(общ)}$ составляет 0,086 %, концентрация Cl – 0,0060 %. Высокие концентрации биогенных элементов, таких как фосфор и сера, в техногенной почве могут быть связаны с бактериальным разложением органической части отходов, которыми была загрязнена почва. Свидетельством бактериальной деятельности служит наличие $FeCO_3$ в почве [15]. В техногенной почве наблюдается присутствие частиц угля размером более 2 мм, что обуславливает довольно высокое содержание $C_{орг.}$ (2,93 %) по сравнению с природными песчаными почвами [14]. Суммарное содержание карбонатных солей, превышающее 10 %, и высокая концентрация $C_{орг.}$ составляют высокое значение потери при прокаливании (15,08 %). Общая сумма составляет 100,39 %.

Суммарные концентрации карбонатных солей ($S_{кр}$) (7,14–14,49 %) также являются высокими в образцах техногенной почвы, отобранных из приствольных кругов выращиваемых елей (табл. 1).

Таблица 1

Концентрации $CaCO_3$, $MgCO_3$ и $FeCO_3$ (%) в образцах техногенной почвы, отобранных из приствольных кругов декоративных елей, и физиологическое состояние древесных растений

Время и место отбора	$CaCO_3$	$MgCO_3$	$FeCO_3$	$S_{кр}$	$CaCO_3 : MgCO_3$	Физиологическое состояние
Апрель, приствольные круги *Picea Canadensis Conica*	1,99	6,11	5,39	13,49	1 : 3,1	Наблюдаются солнечные ожоги
Июль, приствольные круги *Picea Canadensis Conica*	2,99	1,53	5,55	10,07	2 : 1	Залеченные ожоги
Октябрь, приствольные круги *Picea Canadensis Conica*	3,99	1,05	3,78	8,82	3,8 : 1	Здоровые древесные растения
Апрель, приствольные круги *Picea Pungens Glauca*	4,98	0,76	4,99	10,73	6,6 : 1	Здоровые древесные растения
Июль, приствольные круги *Picea Pungens Glauca*	3,99	2,29	8,21	14,49	1,7 : 1	Здоровые древесные растения
Октябрь, приствольные круги *Picea Pungens Glauca*	1,99	1,53	3,62	7,14	1,3 : 1	Здоровые древесные растения

В середине вегетационного периода, в июле, среди карбонатов преобладает $FeCO_3$ в техногенной почве, отобранной из приствольных кругов двух рассматриваемых видов елей (см. табл. 1). В данный период почва является более увлажненной, поскольку с середины мая до середины августа производится обильный дополнительный полив (помимо осадков) в вечернее время предварительно собранной дождевой водой карликовых елей и голубых колючих елей при повышении температуры воздуха более 25 °С, поскольку засуха негативно влияет на физиологическое состояние хвойных древесных растений [16–18]. При этом в дополнительном поливе в большей степени нуждаются карликовые ели с ежегодным приростом около 3 см, которые обладают тонкой мягкой хвоей, подверженной солнечным ожогам в весенний период (март, апрель), в отличие от голубых колючих елей с ежегодным приростом 15 см. Обильный дополнительный полив, включающий как дождевание кроны, так и увлажнение почвы в приствольных кругах, способствовал восстановлению карликовых елей. В почве, отобранной в апреле в приствольных кругах карликовых елей с ожогами, $CaCO_3 : MgCO_3$ составило 1 : 3,1, в то время как в почве, отобранной в июле от этой же группы карликовых елей с залеченными ожогами, $CaCO_3 : MgCO_3$ – 2 : 1 (см. табл. 1). В октябре в почве, отобранной от здоровых карликовых елей, $CaCO_3 : MgCO_3$ составило 3,8 : 1. В почве, отобранной из приствольных кругов голубых колючих елей, напротив, происходит снижение содержаний $CaCO_3$ и увеличение концентраций $MgCO_3$, при этом $CaCO_3 : MgCO_3$ изменяется от 6,6 : 1, которое наблюдалось в апреле, до 1,3 : 1 в октябре (см. табл. 1).

Общее содержание водорастворимых солей ($S_{вр}$) в отобранных образцах техногенной почвы, полученное в результате химического анализа водной вытяжки, не превышает 0,350 %. Наименьшие значения $S_{вр}$ (0,157 и 0,194 %) наблюдаются в середине вегетационного периода, в июле, что связано с интенсивным вымыванием водорастворимых солей дождевой водой, которая по ионному составу является гидрокарбонатной кальциевой, минерализация не превышает 25 мг/л, среднее значение pH дождевой воды равно 6,9. Это значение pH дождевой воды очень близко к значениям pH в образцах техногенной почвы, отобранной из приствольных кругов елей двух видов. Следует отметить, что в июле залеченным ожогам у карликовых елей соответствует минимальная величина $S_{вр}$ (0,157 %) (табл. 2).

По результатам химического анализа водной вытяжки были рассчитаны концентрации нетоксичных и токсичных солей [19], определены тип и степень засоления (табл. 3).

Таблица 2

Результаты химического анализа водной вытяжки в образцах техногенной почвы, отобранных из приствольных кругов декоративных елей, и физиологическое состояние древесных растений

Параметр	Время отбора и древесные растения, из приствольных кругов которых отобрана почва					
	Апрель, *Picea Canadensis Conica*	Июль, *Picea Canadensis Conica*	Октябрь, *Picea Canadensis Conica*	Апрель, *Picea Pungens Glauca*	Июль, *Picea Pungens Glauca*	Октябрь, *Picea Pungens Glauca*
HCO_3^-	0,80 0,049	0,56 0,034	0,96 0,058	0,32 0,019	0,40 0,024	0,40 0,024
Cl^-	1,18 0,041	0,59 0,021	1,48 0,052	1,92 0,067	0,29 0,010	1,78 0,062
SO_4^{2-}	3,44 0,165	1,23 0,059	2,19 0,105	2,50 0,132	2,19 0,105	2,39 0,115
Ca^{2+}	1,20 0,024	1,20 0,024	0,80 0,016	2,00 0,040	0,80 0,016	1,60 0,032
Mg^{2+}	3,62 0,044	0,80 0,010	0,74 0,009	1,23 0,015	0,82 0,010	2,38 0,029
Na^+	0,57 0,013	0,38 0,008	3,09 0,071	1,51 0,034	1,26 0,029	0,59 0,014
Cl^- / SO_4^{2-}	0,34	0,48	0,68	0,77	0,13	0,74
$S_{вр}$	0,336	0,157	0,313	0,297	0,194	0,277
pH	7,2	7,0	7,0	6,8	7,0	6,8
Физиологическое состояние	Наблюдаются солнечные ожоги	Залеченные ожоги	Здоровые древесные растения	Здоровые древесные растения	Здоровые древесные растения	Здоровые древесные растения

Примечание: верхняя строка – содержание компонентов, мг/экв; нижняя строка – содержание, %; отношение анионов Cl^- / SO_4^{2-} рассчитано в мг/экв.; $S_{вр}$ – общее содержание водорастворимых солей, %.

Таблица 3

Концентрации нетоксичных и токсичных солей (%), тип и степень засоления и физиологическое состояние древесных растений

Время и место отбора	Сумма нетоксичных солей	Сумма токсичных солей	*Порог токсичности (незасоленные почвы) [20]	Степень засоления и тип	Физиологическое состояние
1	2	3	4	5	6
Апрель, приствольные круги *Picea Canadensis Conica*	0,092 ($Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$)	0,244 (Na_2SO_4, $MgSO_4$, $MgCl_2$)	< 0,3 < 0,15	Слабая, сульфатный (гипсовый)	Солнечные ожоги
Июль, приствольные круги *Picea Canadensis Conica*	0,089 ($Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$)	0,068 (Na_2SO_4, $MgSO_4$, $MgCl_2$)	< 0,3 < 0,15	Отсутствует засоление	Залеченные ожоги
Октябрь, приствольные круги *Picea Canadensis Conica*	0,065 $Ca(HCO_3)_2$	0,248 (Na_2SO_4, NaCl, $Mg(HCO_3)_2$, $MgCl_2$)	< 0,2 < 0,1	Слабая, хлоридно-сульфатный	Здоровые древесные растения

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6
Апрель, приствольные круги *Picea Pungens Glauca*	0,140 ($Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$)	0,157 (Na_2SO_4, NaCl, $MgCl_2$)	$\frac{< 0,2}{< 0,1}$	Слабая, хлоридно-сульфатный	Здоровые древесные растения
Июль, приствольные круги *Picea Pungens Glauca*	0,060 ($Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$)	0,134 (Na_2SO_4, $MgSO_4$, $MgCl_2$)	$\frac{< 0,3}{< 0,15}$	Отсутствует засоление	Здоровые древесные растения
Октябрь, приствольные круги *Picea Pungens Glauca*	0,114 ($Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$)	0,163 (Na_2SO_4, $MgSO_4$, $MgCl_2$)	$\frac{< 0,2}{< 0,1}$	Слабая, хлоридно-сульфатный	Здоровые древесные растения

Примечание: *в числителе – общая сумма солей, %; в знаменателе – сумма токсичных солей, %.

Как видно, в апреле и октябре наблюдается слабая степень засоления. В основном преобладает хлоридно-сульфатный тип, а сульфатный (гипсовый) был выявлен при солнечных ожогах карликовых елей в апреле (табл. 3). Выявлены колебания суммарных концентраций нетоксичных солей кальция ($Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$) в почве (табл. 3). Суммарные концентрации $Ca(HCO_3)_2$ и $CaSO_4$ во всех случаях меньше суммарных концентраций токсичных солей натрия и магния (см. табл. 3), что может быть связано с более высокой подвижностью катиона кальция среди всех катионов, способных мигрировать в почвах [21]. Установлено, что в апреле и октябре в образцах техногенной почвы, отобранных из приствольных кругов карликовых елей, содержится в 1,5–1,6 раза больше токсичных солей натрия и магния, чем в образцах техногенной почвы из приствольных кругов голубых колючих елей (табл. 3). Выявлено, что в техногенной почве из приствольных кругов карликовых елей происходит снижение концентрации токсичных солей магния ($Mg(HCO_3)_2$, $MgSO_4$, $MgCl_2$) от 0,204 % в апреле до 0,039 % в октябре. В техногенной почве из приствольных кругов голубых колючих елей, напротив, наблюдается увеличение суммарного содержания сульфата и хлорида магния с 0,059 % в апреле до 0,121 % в октябре.

Заключение

1. Дополнительный полив дождевой водой с низкой минерализацией приводил к вымыванию водорастворимых солей, в том числе и токсичных, из верхнего почвенного горизонта в середине вегетационного периода, в июле, а также способствовал залечиванию ожогов у карликовых елей *Picea Canadensis Conica.*

2. Для нормального развития карликовых елей *Picea Canadensis Conica* необходим контроль за концентрациями токсичных солей магния ($MgSO_4$, $MgCl_2$) в почве, а также за $CaCO_3$: $MgCO_3$, которое в почве, отобранной из приствольных кругов у здоровых елей данного вида изменяется от 2 : 1 до 3,8 : 1.

3. Голубые колючие ели *Picea Pungens Glauca* относятся к одному из устойчивых видов к условиям произрастания в урбанизированной среде. Увеличение концентрации токсичных солей магния ($MgSO_4$, $MgCl_2$) после окончания вегетационного периода, а также резкие колебания $CaCO_3$: $MgCO_3$ в техногенной почве из приствольных кругов этих елей, которое изменялось от 6,6 : 1 в апреле до 1,3 : 1 в октябре, не отразились на физиологическом состоянии елей данного вида.

Список источников

1. *Манжина С.А.* К вопросу выявления химизма и степени засоления почв: российские и зарубежные практики // Мелиорация и гидротехника. 2021. № 3 (11). С. 163–181. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-163-181.
2. *Кулакова Н.Ю., Шабанова Н.П.* Засоление почв – одна из проблем городского озеленения // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2019. № 54. С. 127–131.
3. *Коновалов В.Н., Зарубина Л.В.* Влияние хлорсодержащих удобрений на метаболизм ели и сосны в северотаежных фитоценозах // ИВУЗ. Лесной журнал. 2017. № 3. С. 100–113. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.100.
4. *Ромодина Л.В., Лапушкин В.М.* Агрохимия в декоративном садоводстве: учеб. пособие. М.: Росинформагротех, 2017. 140 с.
5. *Аканова Н.И., Шильников И.А.* Проблема химической мелиорации почв в земледелии Российской Федерации // Плодородие. 2018. № 2(101). С. 9–11. DOI: 10.25680/S19948603.2018.101.04.

6. *Сычев В.Г., Аканова Н.И.* Современные проблемы и перспективы химической мелиорации кислых почв // Плодородие. 2019. № 1 (106). С. 3–7. DOI: 10.25680/S19948603.2019.106.01.
7. Влияние кальцийсодержащего природного материала на состояние бурых лесных кислых почв и растений чая (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) в субтропиках России / *Л.С. Малюкова* [и др.] // Агрохимия. 2020. № 12. С. 3–10. DOI: 10.31857/S0002188120120054.
8. Динамика содержания обменных катионов кальция и магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, мелиорируемой различными по размеру фракциями доломита (эмпирические модели процесса подкисления) / *А.В. Литвинович* [и др.] // Агрохимия. 2018. № 3. С. 50–61. DOI: 10.7868/S0002188118030079.
9. Мелиоративные свойства, удобрительная ценность и скорость растворения в почвах различных по размеру фракций отсева доломита, используемого для дорожного строительства / *А.В. Литвинович* [и др.] // Агрохимия. 2016. № 2. С. 31–41.
10. *Крамаренко В.В.* Грунтоведение. М.: Юрайт, 2016. 430 с.
11. *Shtel'makh S.I.* Geochemical features of the quaternary deposits of the Irkutsk's reservoir zone under technogenic conditions // Journal of Geological Resource and Engineering. 2018. № 6. P. 210–216. DOI: 10.17265/2328-2193/2018.05.003.
12. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
13. *Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю.* Методы анализа природных вод. М.: Недра, 1970. 488 с.
14. *Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И.* Почвоведение: учеб. для вузов. М.; Ростов-н/Д.: МарТ. 2006. 496 с.
15. *Водяницкий Ю.Н.* Соединения железа и их роль в охране почв / Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии. М., 2010. 155 с.
16. *Сапанов М.К., Сиземская М.Л.* Климатогенные ограничения аридного лесовыращивания // Лесоведение. 2020. № 1. С. 46–54. DOI: 10.31857/S0024114820010131.
17. Усыхание темнохвойных древостоев Прибайкалья / *В.И. Харук* [и др.] // Сибирский экологический журнал. 2016. Т. 23, № 5. С. 750–760. DOI: 10.15372/SEJ20160512.
18. *Тихонова И.В, Корец М.А.* Изменчивость метеорологических условий произрастания хвойных пород в Средней Сибири с 1960 г. // Лесоведение. 2021. № 2. С. 173–186. DOI: 10.31857/S002411482102008X.
19. *Воеводина Т.С., Русанов А.М., Васильченко А.В.* Мелиорация почв степной зоны. Оренбург: Оренбург. гос. ун-т, 2014. 191 с.
20. *Панкова Е.И., Воробьева Л.А.* Диагностика и критерии оценки засоления почв // Засоленные почвы России. М.: Академкнига, 2006. С. 6–50.
21. Миграционная подвижность органического вещества и Са в дерново-подзолистой супесчаной почве, произвесткованной различными дозами мела / Литвинович А.В. [и др.] // Агрохимия. 2020. № 8, С. 3–12. DOI: 10.31857/S0002188120080049.

References

1. *Manzhina S.A.* K voprosu vyyavleniya himizma i stepeni zasoleniya pochv: rossijskie i zarubezhnye praktiki // Melioraciya i gidrotehnika. 2021. № 3 (11). S. 163–181. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-163-181.
2. *Kulakova N.Yu., Shabanova N.P.* Zasolenie pochv – odna iz problem gorodskogo ozeleneniya // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. 2019. № 54. S. 127–131.
3. *Konovalov V.N., Zarubina L.V.* Vliyanie hlorsoderzhaschih udobrenij na metabolizm eli i sosny v severotaezhnyh fitocenozah // IVUZ. Lesnoj zhurnal. 2017. № 3. S. 100–113. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.100.
4. *Romodina L.V., Lapushkin V.M.* Agrohimiya v dekorativnom sadovodstve: ucheb. posobie. M.: Rosinformagroteh, 2017. 140 s.
5. *Akanova N.I., Shil'nikov I.A.* Problema himicheskoj melioracii pochv v zemledelii Rossijskoj Federacii // Plodorodie. 2018. № 2(101). S. 9–11. DOI: 10.25680/S19948603.2018.101.04.
6. *Sychev V.G., Akanova N.I.* Sovremennye problemy i perspektivy himicheskoj melioracii kislyh pochv // Plodorodie. 2019. № 1 (106). S. 3–7. DOI: 10.25680/S19948603.2019.106.01.
7. Vliyanie kal'cijsoderzhaschego prirodnogo materiala na sostoyanie buryh lesnyh kislyh pochv i rastenij chaya (*Samellia sinensis* (L.) Kuntze) v subtropikah Rossii / *L.S. Malyukova*

[i dr.] // Agrohimiya. 2020. № 12. S. 3–10. DOI: 10.31857/S0002188120120054.
8. Dinamika soderzhaniya obmennyh kationov kal'ciya i magniya v dernovo-podzolistoj legkosuglinistoj pochve, melioriruemoj razlichnymi po razmeru frakciyami dolomita (`empiricheskie modeli processa podkisleniya) / *A.V. Litvinovich* [i dr.] // Agrohimiya. 2018. № 3. S. 50–61. DOI: 10.7868/S0002188118030079.
9. Meliorativnye svojstva, udobritel'naya cennost' i skorost' rastvoreniya v pochvah razlichnyh po razmeru frakcij otseva dolomita, ispol'zuemogo dlya dorozhnogo stroitel'stva / *A.V. Litvinovich* [i dr.] // Agrohimiya. 2016. № 2. S. 31–41.
10. *Kramarenko V.V.* Gruntovedenie. M.: Yurajt, 2016. 430 s.
11. *Shtel'makh S.I.* Geochemical features of the quaternary deposits of the Irkutsk's reservoir zone under technogenic conditions // Journal of Geological Resource and Engineering. 2018. № 6. P. 210-216. DOI: 10.17265/2328-2193/2018.05.003.
12. *Arinushkina E.V.* Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv. 2-e izd. M.: Izd-vo MGU, 1970. 488 s.
13. *Reznikov A.A., Mulikovskaya E.P., Sokolov I.Yu.* Metody analiza prirodnyh vod. M.: Nedra, 1970. 488 s.
14. *Val'kov V.F., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I.* Pochvovedenie: ucheb. dlya vuzov. M.; Rostov-n/D.: MarT. 2006. 496 s.
15. *Vodyanickij Yu.N.* Soedineniya zheleza i ih rol' v ohrane pochv / Pochvennyj institut im. V.V. Dokuchaeva Rossel'hozakademii. M., 2010. 155 s.
16. *Sapanov M.K., Sizemskaya M.L.* Klimatogennye ogranicheniya aridnogo lesovyraschivaniya // Lesovedenie. 2020. № 1. S. 46–54. DOI: 10.31857/S0024114820010131.
17. Usyhanie temnohvojnyh drevostoev Pribajkal'ya / *V.I. Haruk* [i dr.] // Sibirskij `ekologicheskij zhurnal. 2016. T. 23, № 5. S. 750–760. DOI: 10.15372/SEJ20160512.
18. *Tihonova I.V, Korec M.A.* Izmenchivost' meteorologicheskih uslovij proizrastaniya hvojnyh porod v Srednej Sibiri s 1960 g. // Lesovedenie. 2021. № 2. S. 173–186. DOI: 10.31857/S002411482102008X.
19. *Voevodina T.S., Rusanov A.M., Vasil'chenko A.V.* Melioraciya pochv stepnoj zony. Orenburg: Orenburg. gos. un-t, 2014. 191 c.
20. *Pankova E.I., Vorob'eva L.A.* Diagnostika i kriterii ocenki zasoleniya pochv // Zasolennye pochvy Rossii. M.: Akademkniga, 2006. S. 6–50.
21. Migracionnaya podvizhnost' organicheskogo veschestva i Ca v dernovo-podzolistoj supeschanoj pochve, proizvestkovannoj razlichnymi dozami mela / Litvinovich A.V. [i dr.] // Agrohimiya. 2020. № 8, S. 3–12. DOI: 10.31857/S0002188120080049.

Статья принята к публикации 28.08.2023 / The article accepted for publication 28.08.2023.

Информация об авторах:

Светлана Ивановна Штельмах[1], старший научный сотрудник Центра коллективного пользования геодинамики и геохронологии, кандидат геолого-минералогических наук
Марина Валерьевна Данилова[2], ведущий инженер лаборатории инженерной геологии и геоэкологии

Information about the authors:

Svetlana Ivanovna Shtelmakh[1], Senior Researcher at the Center for Collective Use of Geodynamics and Geochronology, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences
Marina Valerievna Danilova, Leading Engineer at the Laboratory of Engineering Geology and Geoecology