

## ОЦЕНКА СКОРОСТИ РАЗРУШЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ХЛОРИДА НАТРИЯ В СОСТАВЕ АНТИГОЛОЛЕДНЫХ СРЕДСТВ

ПЕТРОВ В. Г., БАЛИЦКИЙ Я. А., СУКСИН Н. Е.

Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН,  
426067, г. Ижевск, ул. Т. Барамзиной, 34

---

**АННОТАЦИЯ.** Исследована скорость разрушения структуры почв, характерных для Удмуртской Республики, при их загрязнении антигололедными средствами, содержащими хлорид натрия. Предварительное изучение загрязнения проб снега в г. Ижевске показало, что хлориды часто используются в качестве антигололедных средств. Наибольшее содержание хлоридов выявлено вблизи автомобильных дорог. Исследование скорости разрушения структуры почвы проводили на лабораторном стенде, моделирующем воздействие атмосферных осадков в виде дождя и талого снега на загрязненный слой почвы. Загрязнение почвы проводили хлоридом натрия в количестве 5 и 20 ПДК по хлорид-иону. Степень разрушения структуры почвы определяли по изменению скорости фильтрации воды через загрязненный слой почвы. Установлено, что структуры дерново-подзолистой и дерново-карбонатной почв достаточно быстро разрушаются. Уже через 7-15 часов структура почв изменяется в условиях воздействия атмосферных осадков в виде дождя или талой воды. Структура серой лесной почвы более устойчива. Определено, что увеличение содержания гумуса в почве положительно влияет на устойчивость структуры почвы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** загрязнение почвы, антигололедные средства, хлорид натрия.

---

### ВВЕДЕНИЕ

Ранее нами было установлено, что использование хлорида натрия в составе антигололедных средств имеет серьёзные негативные экологические последствия и ведет к разрушению структуры почвы [1, 2]. Обменный натрий оказывает сильное негативное влияние на физические и физико-механические свойства почв. В то время как калий и кальций оказывают влияние на изменение структуры почвы в меньшей степени. По мере увеличения доли натрия в составе обменных катионов усиливается разрушение почвенной структуры, возрастают пептизация тонкодисперсных частиц, набухание, пластичность и липкость почвы, снижаются пористость и скорость фильтрации [3, 4]. В работе исследована скорость разрушения почв, характерных для Удмуртской Республики, при загрязнении хлоридом натрия в количестве 5 и 20 ПДК по хлорид-иону, содержание натрия в почве нормативными документами не регламентируется [5].

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование скорости разрушения структуры почвы проводили на лабораторном стенде, моделирующем воздействие атмосферных осадков в виде дождя на загрязненный слой почвы [6, 7]. На стенд устанавливаются несколько колонок с исследуемой почвой, массой 1 кг, в которую вводили хлорид натрия, квалификации х.ч., в количестве 5 и 20 ПДК по хлорид-иону. В верхнюю часть колонок в капельном режиме подается дистиллированная вода, из нижней части колонок отбирается фильтрат. Конструкция стенда позволяет определять скорость фильтрации воды через загрязненный слой почвы. При нарушении структуры почвы под воздействием ионов натрия скорость фильтрации замедляется,

при этом в верхней части колонки устанавливали постоянный столб воды, высотой 50 мм и фиксировали время фильтрации воды при отборе фракций определенного объема, после чего делали расчет скорости фильтрации.

При расчете скорости разрушения структуры почвы приняли, что она связана с изменением скорости фильтрации воды через слой почвы. При замене ионов в почвенном поглощающем комплексе на обменный ион натрия образуется новая фаза, обладающая отличными от исходной структуры почвы свойствами. Увеличение содержания фазы ведет к уменьшению скорости фильтрации.

Расчет степени разрушения структуры почвы рассчитывали по формуле:

$$\alpha = \frac{w_n - w_i}{w_n}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – степень разрушения структуры почвы,  $w_n$  – начальная скорость фильтрации,  $w_i$  – наблюдаемая скорость фильтрации.

Наблюдаемую константу скорости разрушения структуры почвы рассчитывали с использованием теории кинетики гетерогенных процессов [8] в соответствии с уравнением:

$$\frac{d\alpha}{(1-\alpha)^n} = K_n d\tau, \quad (2)$$

где  $K_n$  – наблюдаемая константа скорости разрушения структуры почвы,  $\tau$  – время взаимодействия с NaCl с почвой в водной среде.

Порядок процесса определяли по формуле:

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \left( \frac{C_{0,2}}{C_{0,1}} \right)^{n-1}, \quad (3)$$

где  $\tau_1, \tau_2$  – время за которое почва с исходным загрязнением  $C_{0,1}$  и  $C_{0,2}$  – достигает одной и той же степени разрушения структуры почвы.

Время разрушения структуры почвы рассчитывали при значении  $\alpha = 0.99$ . Характеристика исследованных в работе образцов почвы приведена в табл. 1.

**Таблица 1**

**Характеристика исследованных образцов почвы**

Почва, показатель	Дерново-подзолистая	Дерново-карбонатная выщелоченная	Серая лесная
рН водной вытяжки	6.23	6.49	6.29
рН солевой вытяжки	5.60	5.83	5.62
Гумус, %	2.69	3.19	4.99

Также в работе было проведено исследование загрязнения образцов снежного покрова в различных частях г. Ижевска антигололедными средствами. Отбор проб снега осуществляли в соответствии с работами [9, 10] в марте 2020 г. Снег предварительно перед анализом был растоплен в лаборатории при комнатной температуре. Анализ хлорид-ионов в талой воде проводили титрованием хлорид-иона раствором азотнокислого серебра, образующим с хлорид-ионом труднорастворимое соединение, с использованием для установления конечной точки титрования хромата калия, образующего с избытком серебра осадок, вызывающий переход окраски раствора от желтой к красно-бурой [11].

Содержание хлорид-ионов в г. Ижевске сравнивалось с содержанием в контрольной точке в Завьяловском районе УР.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 2 приведены результаты исследования загрязнения снежного покрова антигололедными средствами, содержащими хлорид-ион. Из табл. 2 видно, что хлориды активно используются в качестве антигололедных средств. Повышенное их количество определяется в пробах снега вблизи городских транспортных магистралей. В состав различных антигололедных средств входит хлорид натрия (техническая соль «галит», песчано-солевая смесь) [12, 13]. Поэтому проблема разрушения структуры почвенного покрова при использовании антигололедных средств является актуальной.

Таблица 2

Результаты исследования загрязнения снежного покрова антигололедными средствами в г. Ижевске (март 2020 г.)

№ п/п	Место отбора проб снега	Концентрация хлорид-иона, мг/л
Фон	д. Каменное, Завьяловский район УР	7.9
1	г. Ижевск, ул. Т. Барамзиной (напротив магазина "Магнит")	22.5
2	г. Ижевск, ул. Воткиское шоссе (рядом с ГИБДД)	26.3
3	г. Ижевск, Северный мкр.	8.2
4	г. Ижевск, ул. Фруктовая (конечная троллейбусов 6, 9)	17.4
5	г. Ижевск, Вишнёвый сквер (перекрёсток ул. Кирова, Пушкинская)	8.2
6	г. Ижевск, ул. Гагарина (напротив Вокзальной площади)	8.2
7	г. Ижевск, Ижсталь, ул. Новоажимова (рядом с проходной большегрузов)	8.2
8	г. Ижевск, перекрёсток ул. Клубная – Новостроительная	8.2
9	г. Ижевск, Кирпичный завод (газон рядом с отделением Сбербанка)	9.1
10	г. Ижевск, ул. Увинская (напротив детского сада)	8.2

На рис. 1, 2 и в табл. 3 – 8 приведены зависимости скорости фильтрации от времени для различных образцов почвы на экспериментальном стенде при загрязнении хлоридом натрия в 5 и 20 ПДК по хлорид-иону.

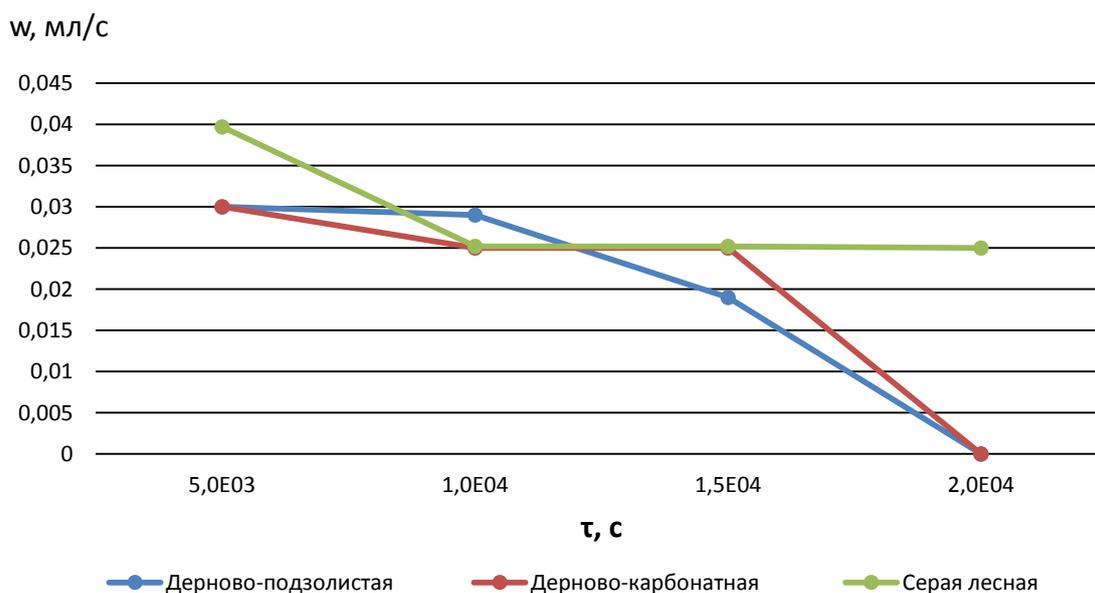
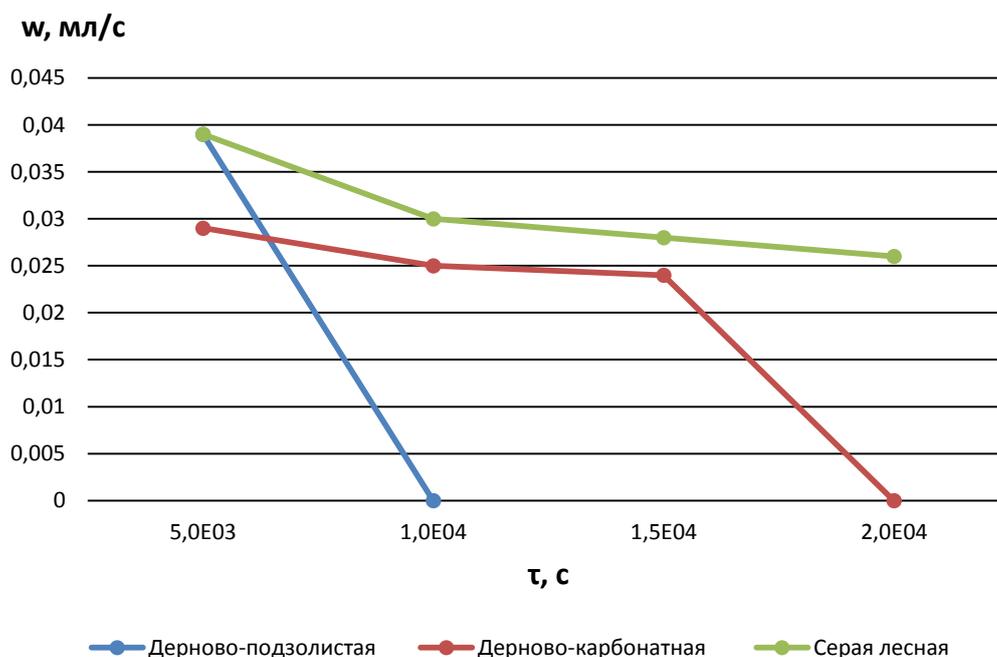


Рис. 1. Изменение скорости фильтрации от времени для различных образцов почвы при загрязнении NaCl в 5 ПДК по хлорид-иону



**Рис. 2. Изменение скорости фильтрации от времени для различных образцов почвы при загрязнении NaCl в 20 ПДК по хлорид-иону**

**Таблица 3**

**Изменение скорости фильтрации и значения степени разрушения структуры от времени для дерново-подзолистой почвы при загрязнении NaCl в 5 ПДК по хлорид-иону**

Время взаимодействия, с	Скорость фильтрации, мл/с	Степень превращения
$2.820 \cdot 10^3$	$3.546 \cdot 10^{-2}$	0.0
$6.360 \cdot 10^3$	$2.825 \cdot 10^{-2}$	0.203
$9.900 \cdot 10^3$	$2.976 \cdot 10^{-2}$	0.161
$1.344 \cdot 10^4$	$2.008 \cdot 10^{-2}$	0.434
$1.698 \cdot 10^4$	$1.754 \cdot 10^{-2}$	0.505
$2.058 \cdot 10^4$	0.0	1.0

**Таблица 4**

**Изменение скорости фильтрации и значения степени разрушения структуры от времени для дерново-подзолистой почвы при загрязнении NaCl в 20 ПДК по хлорид-иону**

Время взаимодействия, с	Скорость фильтрации, мл/с	Степень превращения
$2.160 \cdot 10^3$	$4.630 \cdot 10^{-2}$	0.0
$4.680 \cdot 10^3$	$3.968 \cdot 10^{-2}$	0.143
$7.200 \cdot 10^3$	$3.472 \cdot 10^{-2}$	0.250
$1.080 \cdot 10^4$	0.0	1.0

Таблица 5

**Изменение скорости фильтрации и значения степени разрушения структуры от времени для дерново-карбонатной почвы при загрязнении NaCl в 5 ПДК по хлорид-иону**

Время взаимодействия, с	Скорость фильтрации, мл/с	Степень превращения
$3.960 \cdot 10^3$	$3.086 \cdot 10^{-2}$	0.0
$7.200 \cdot 10^3$	$2.778 \cdot 10^{-2}$	0.100
$1.044 \cdot 10^4$	$2.525 \cdot 10^{-2}$	0.182
$1.368 \cdot 10^4$	$2.283 \cdot 10^{-2}$	0.260
$1.692 \cdot 10^4$	$2.137 \cdot 10^{-2}$	0.308
$2.052 \cdot 10^4$	0.0	1.0

Таблица 6

**Изменение скорости фильтрации и значения степени разрушения структуры от времени для дерново-карбонатной почвы при загрязнении NaCl в 20 ПДК по хлорид-иону**

Время взаимодействия, с	Скорость фильтрации, мл/с	Степень превращения
$4.080 \cdot 10^3$	$3.030 \cdot 10^{-2}$	0.0
$8.280 \cdot 10^3$	$2.564 \cdot 10^{-2}$	0.154
$1.248 \cdot 10^4$	$2.451 \cdot 10^{-2}$	0.191
$1.668 \cdot 10^4$	$2.381 \cdot 10^{-2}$	0.214
$2.028 \cdot 10^4$	0.0	1.0

Таблица 7

**Изменение скорости фильтрации и значения степени разрушения структуры от времени для серой лесной почвы при загрязнении NaCl в 5 ПДК по хлорид-иону**

Время взаимодействия, с	Скорость фильтрации, мл/с	Степень превращения
$1.320 \cdot 10^3$	$4.576 \cdot 10^{-2}$	0.0
$3.000 \cdot 10^3$	$3.952 \cdot 10^{-2}$	0.136
$4.680 \cdot 10^3$	$3.968 \cdot 10^{-2}$	0.133
$6.360 \cdot 10^3$	$2.825 \cdot 10^{-2}$	0.383
$8.040 \cdot 10^3$	$2.778 \cdot 10^{-2}$	0.393
$9.720 \cdot 10^3$	$2.564 \cdot 10^{-2}$	0.440
$1.140 \cdot 10^4$	$2.525 \cdot 10^{-2}$	0.448
$1.308 \cdot 10^4$	$2.521 \cdot 10^{-2}$	0.449
$1.673 \cdot 10^4$	$2.508 \cdot 10^{-2}$	0.452
$2.034 \cdot 10^4$	$2.503 \cdot 10^{-2}$	0.453

Таблица 8

**Изменение скорости фильтрации и значения степени разрушения структуры от времени для серой лесной почвы при загрязнении NaCl в 5 ПДК по хлорид-иону**

Время взаимодействия, с	Скорость фильтрации, мл/с	Степень превращения
$3.600 \cdot 10^3$	$4.630 \cdot 10^{-2}$	0.0
$5.760 \cdot 10^3$	$3.704 \cdot 10^{-2}$	0.200
$7.920 \cdot 10^3$	$3.472 \cdot 10^{-2}$	0.250
$1.008 \cdot 10^4$	$3.030 \cdot 10^{-2}$	0.345
$1.224 \cdot 10^4$	$3.030 \cdot 10^{-2}$	0.345
$1.440 \cdot 10^4$	$2.778 \cdot 10^{-2}$	0.400
$1.656 \cdot 10^4$	$2.778 \cdot 10^{-2}$	0.400
$1.872 \cdot 10^4$	$2.778 \cdot 10^{-2}$	0.400
$2.088 \cdot 10^4$	$2.578 \cdot 10^{-2}$	0.443
$2.304 \cdot 10^4$	$2.578 \cdot 10^{-2}$	0.443

В табл. 3 – 8 приведены также значения степени разрушения структуры почвы от времени, рассчитанные в соответствии с уравнением (1).

В табл. 9 – значения порядка процесса разрушения структуры почвы.

Из табл. 9 видно, что порядок разрушения близок к первому. В соответствии с этим формула (2) переписывается следующим образом:

$$\ln(1-\alpha) = -K_n \tau, \quad (4)$$

Из тангенса угла наклона зависимости  $\ln(1-\alpha) = f(\tau)$  определяется наблюдаемая константа скорости разрушения.

Таблица 9

**Порядок процесса разрушения структуры почвы**

Степень превращения	Порядок		
	дерново-подзолистая почва	дерново-карбонатная почва	серая лесная почва
$\alpha = 0.2$	1.21	1.00	1.06
$\alpha = 0.3$	1.31	0.98	0.95
$\alpha = 0.4$	1.39	0.98	0.87

В табл. 10 приведены значения наблюдаемой константы скорости разрушения структуры почвы и время ( $\alpha = 0.99$ ), за которое структура почвы разрушится. Из таблицы видно, что структура дерново-подзолистой и дерново-карбонатной почвы достаточно быстро разрушается при воздействии NaCl в количестве 5 и 20 ПДК по хлорид-иону. Разрушение структуры для этих почв происходит от 7 до 15 часов, что может происходить непосредственно при таянии снега вблизи дорог в весенний период времени. Серая лесная почва более устойчива к воздействию. Разрушение структуры почвы связано с замещением обменным натрием других ионов в ППК. Увеличение содержания гумуса в почве создает более устойчивый ППК, что усложняет процесс его разрушения.

Наблюдаемая константа и время разрушения структуры почвы

Почва	Уровень загрязнения, ПДК	Наблюдаемая константа превращения, $K_n, c^{-1}$	Время разрушения структуры почвы, ч, $\alpha = 0.99$
Дерново-подзолистая	5	$9.250 \cdot 10^{-5}$	13.8
	20	$1.731 \cdot 10^{-4}$	7.4
Дерново-карбонатная	5	$8.843 \cdot 10^{-5}$	14.5
	20	$8.700 \cdot 10^{-5}$	14.7
Серая лесная почва	5	$1.065 \cdot 10^{-5}$	120.1
	20	$1.054 \cdot 10^{-5}$	121.4

На рис. 3 приведена зависимость времени разрушения структуры почвы от содержания гумуса. Из рисунка видно, что увеличение содержания гумуса в почве положительно влияет на устойчивость структуры почвы при воздействии NaCl в количестве как 5, так и 20 ПДК.

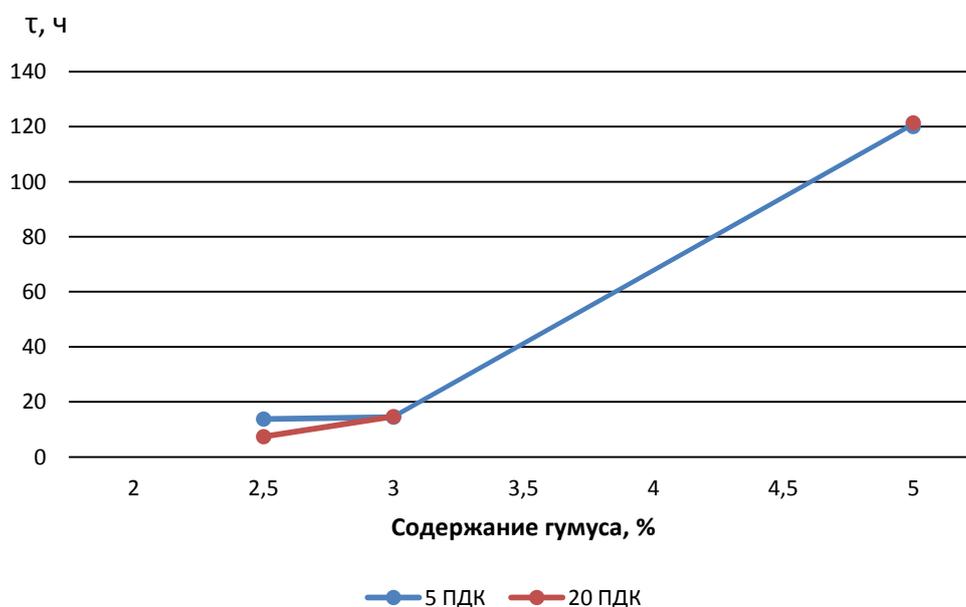


Рис. 3. Зависимость времени разрушения структуры почвы ( $\alpha = 0.99$ ) от содержания гумуса

## ВЫВОДЫ

В ходе работы проведена оценка скорости разрушения структуры почвенного покрова для образцов почвы, характерных для Удмуртской Республики при загрязнении хлоридом натрия, входящим в состав антигололедных средств.

Установлено, что структуры дерново-подзолистой и дерново-карбонатной почвы достаточно быстро разрушаются. Уже через 7 – 15 часов структура почв изменяется в условиях воздействия атмосферных осадков в виде дождя или талой воды. Структура серой лесной почвы более устойчива.

Определено, что увеличение содержания гумуса в почве положительно влияет на устойчивость структуры почвы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров В. Г., Ханнанов Д. А., Балицкий Я. А. Подвижность хлорид-ионов в дерново-подзолистой почве при загрязнении хлоридами щелочных металлов // Химическая физика и мезоскопия. 2019. Т. 21, № 2. С. 290-295.
2. Балицкий Я. А., Петров В. Г., Ханнанов Д. А. О некоторых экологических проблемах использования антигололедных средств в Удмуртии // Материалы международной НПК «Проблемы региональной экологии и географии». Ижевск: ИЦ Удмуртский университет, 2019. С. 117-120.
4. Орлов Д. С., Малинина М. С., Мотузова Г. В. и др. Химическое загрязнение почв и их охрана: Словарь-справочник. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.
5. ГН 2.1.7.2041-06 Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293850/4293850511.htm> (дата обращения: 15.07.2020).
6. Петров В. Г., Шумилова М. А. Способ исследования особенностей поведения загрязняющих веществ в почвах // Патент RU 2590554, 2016.
7. Петров В. Г., Шумилова М. А. Способ изучения в лабораторных условиях подвижности техногенных загрязнений в почве // Химическая физика и мезоскопия. 2012. Т. 14, № 2. С. 249-252.
8. Киреев В. А. Курс физической химии. М.: Химия, 1975. 776 с.
9. Шумилова М. А., Садидуллина О. В., Петров В. Г. Исследование загрязненности снежного покрова на примере города Ижевска // Вестник Удмуртского университета. Серия Физика и Химия. 2012. Вып. 2. С. 83-89.
10. Шумилова М. А. Совершенствование экологического мониторинга урбанотерриторий на примере города Ижевска // Наука Удмуртии. 2018. № 4(86). С. 116-119.
11. ГОСТ 26425-85. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023486> (дата обращения 15.07.2020).
12. Пироговская Г. В., Хмелевский С. С. Содержание натрия, хлоридов и сульфатов в почвах г. Минска. URL: [http://aw.belal.by/russian/science/soilandagro\\_pdf/44/44-28.pdf](http://aw.belal.by/russian/science/soilandagro_pdf/44/44-28.pdf) (дата обращения 15.07.2020).
13. 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.

---

### The Rate of Destruction of Soil Cover Structure When Using Sodium Chloride in the Composition of Anti-Icing Means

Petrov V. G., Balitsky Ya. A., Suxin N. E.

Udmurt Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Science, Izhevsk, Russia

**SUMMARY.** The rate of destruction of the structure of soil, which is typical for the Udmurt Republic, when they are polluted with anti-icing agents containing sodium chloride, is studied. A preliminary study of contamination of snow samples in Izhevsk showed that chlorides are often used as anti-icing agents. The highest content of chlorides was found near highways. The study of the rate of destruction of the soil structure was carried out on a laboratory stand that simulates the impact of atmospheric precipitation in the form of rain, as well as snowmelt on the contaminated soil layer. Soil contamination was carried out with sodium chloride in the amount of 5 and 20 MPC for chloride ion. The degree of destruction of the soil structure was determined by changing the rate of water filtration through the contaminated soil layer. It is established that the structures of sod-podzolic and sod-carbonate soil are destroyed quite quickly. After 7-15 hours, the soil structure changes under the influence of atmospheric precipitation in the form of rain or meltwater. The structure of gray forest soil is more stable. It was determined that an increase in the humus content in the soil positively affects the stability of the soil structure.

**KEYWORDS:** soil contamination, anti-icing means, the sodium chloride.

## REFERENCES

1. Petrov V. G., Khannanov D. A., Balitskiy Ya. A. Podvizhnost' khlorid-ionov v dernovo-podzolistoy pochve pri zagryaznenii khloridami shchelochnykh metallov [Mobility of the chloride ions in sod-podzolic soil under pollution by chlorides of alkali metals]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya* [Chemical Physics and Mesoscopy], 2019, vol. 21, no. 2, pp. 290-295. <https://doi.org/10.15350/17270529.2019.2.31>
2. Balitskiy Ya. A., Petrov V. G., Khannanov D. A. O nekotorykh ekologicheskikh problemakh ispol'zovaniya antigolodnykh sredstv v Udmurtii [On some environmental problems of the use of anti-icing agents in Udmurtia]. *Materialy mezhdunarodnoy NPK "Problemy regional'noy ekologii i geografii"* [Proceedings of the international SPC "Problems of regional ecology and geography"]. Izhevsk: Udmurtskiy Universitet Publ., 2019, pp. 117-120.
3. Smirnov P. M., Muravin E. A. *Agrokimiya* [Agrochemistry]. Moscow: Kolos Publ., 1977. 240 p.
3. Смирнов П. М., Муравин Э. А. *Агрохимия*. М.: Колос, 1977. 240 с.
4. Orlov D. S., Malinina M. S., Motuzova G. V. and etc. *Khimicheskoye zagryazneniye pochv i ikh okhrana: Slovar'-spravochnik* [Chemical contamination of soils and their protection: Handbook]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1991. 303 p.
5. GN 2.1.7.2041-06 Gigienicheskie normativy. Predelno dopustimye koncentracii khimicheskikh veschestv v pochve [GN 2.1.7.2041-06 Hygienic standards. The maximum permissible concentration (MPC) of chemical substances in the soil]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293850/4293850511.htm> (accessed July 15, 2020).
6. Petrov V. G., Shumilova M. A. Sposob issledovaniya osobennostey povedeniya zagryaznjavushchih veschestv v pochvakh [Method for investigating the behavior of pollutants in soils]. *Patent RU 2590554*, 2016.
7. Petrov V. G., Shumilova M. A. Sposob izucheniya v laboratornykh usloviyakh podvizhnosti technogennykh zagryazneniy v pochve [Way of studying in laboratory conditions of mobility of technogenic pollutions in the soil]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya* [Chemical Physics and Mesoscopy], 2012, vol. 14, no. 2, pp. 249-252.
8. Kireev V. A. *Kurs fizicheskoy himii* [Course of physical chemistry]. Moscow: Himiya Publ., 1975. 776 p.
9. Shumilova M. A., Sadiullina O. V., Petrov V. G. Issledovanie zagryaznenosti snezhnogo pokrova na primere goroda Izhevsk [Study of snow cover contamination by example of Izhevsk]. *Vestnik Udmurtskogo Universiteta. Seriya Fizika i Khimiya* [The Bulletin of Udmurt University. Series: Physics, Chemistry, 2012, iss. 2, pp. 83-89.
10. Shumilova M. A. Sovershenstvovaniye ekologicheskogo monitoringa urbanoterritoriy na primere goroda Izhevsk [Improving the environmental monitoring of urban areas on the example of the city of Izhevsk]. *Nauka Udmurtii* [Science of Udmurtia], 2018, no. 4(86), pp. 116-119.
11. GOST 26425-85. Pochvy. Metody opredeleniya iona khlorida v vodnoy vytyazhke [Soils. Methods for the determination of chloride ion in a water extract]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023486> (accessed July 15, 2020).
12. Pirogovskaya G. V., Khmelevsky S. S. *Soderzhaniye natriya, khloridov i sul'fatov v pochvakh g. Minska*. [The content of sodium, chlorides and sulfates in the soils of the city of Minsk]. URL: [http://aw.belal.by/russian/science/soilandagro\\_pdf/44/44-28.pdf](http://aw.belal.by/russian/science/soilandagro_pdf/44/44-28.pdf) (accessed July 15, 2020).
13. Konarbaeva G.A., Yakimenko V.N. *Soderzhaniye i raspredeleniye galogenov v pochvennom profile yestestvennykh i antropogennykh ekosistem yuga Zapadnoy Sibiri* [Content and distribution of halogens in soil profile of natural and man-made ecosystems in the south of Western Siberia]. *Vestnik TGU. Biologiya* [Tomsk State University Journal of Biology], 2012. no. 4 (20), pp. 21-35.

---

Петров Вадим Генрихович, доктор химических наук, ведущий научный сотрудник,  
УдмФИЦ УрО РАН, тел. (3412) 21-89-55, e-mail: [petrov@udman.ru](mailto:petrov@udman.ru)

Балицкий Яков Андреевич, аспирант УдмФИЦ УрО РАН, тел. (3412) 21-89-55, e-mail: [balit18@ya.ru](mailto:balit18@ya.ru)

Суксин Никита Евгеньевич, аспирант УдмФИЦ УрО РАН,  
тел (3412) 21-89-55, e-mail: [nutrelun@mail.ru](mailto:nutrelun@mail.ru)