

Преобразование солевого состава почв Ишимской степи при изменении их влажности

© 2025 В. В. Попов ¹, Ю. В. Кравцов ², Н. В. Елизаров ¹

¹ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: vik632288@yandex.ru, elizarov_89@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет», ул. Виллюйская, 28, г. Новосибирск, 630126, Россия. E-mail: kravtsov60@mail.ru

Цель исследования. Изучить преобразование солевого состава почв Ишимской степи при изменении их влажности путем сравнения химического состава водной вытяжки и почвенного раствора при естественной и повышенной влажности этих почв.

Место проведения. Анализ проводили на почвенных образцах, отобранных на Ишим-Иртышском степном междуречье (Ишимская степь) в пределах Омской области.

Методы. Использовали сравнительно-аналитический метод при сопоставлении химического состава водной вытяжки, увлажненного почвенного раствора и почвенного раствора естественной влажности.

Основные результаты. Выявлено влияние изменения влажности на ионно-солевою систему тяжелосуглинистых почв Ишимской степи. При возрастании влагосодержания почвы количество растворенных солей в ней неизменно возрастает, что связано с растворимостью как твердых солей, находящихся в почве, так и с протекающими процессами ионного обмена. Такое увеличение связано, главным образом, с ростом концентрации HCO_3^- , SO_4^{2-} и Na^+ . В образцах, не содержащих гипс, наблюдается снижение содержания ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в водной вытяжке по сравнению с почвенным раствором. В образцах, содержащих гипс, напротив, происходит скачкообразное синхронное увеличение не только иона кальция и сульфат-иона, но и катиона магния в водной вытяжке. При увеличении влажности отмечается изменение в соотношении между отдельными ионами, существенно изменяя химизм засоления.

Заключение. Увеличение влажности приводит к изменению почвенного раствора по соотношению анионов в направлении сульфатного, а иссушение – в направлении хлоридного типа. По соотношению катионов при увеличении влажности – к натриевому, а при иссушении – к магниевому типу.

Ключевые слова: Ишимская степь; почвенный раствор; водная вытяжка; влажность почвы; солевой состав, засоление, ионно-солевой профиль.

Цитирование: Попов В.В., Кравцов Ю.В., Елизаров Н.В. Преобразование солевого состава почв Ишимской степи при изменении их влажности // Почвы и окружающая среда. 2025. Том 8. № 3. e322. DOI: [10.31251/pos.v8i3.322](https://doi.org/10.31251/pos.v8i3.322)

ВВЕДЕНИЕ

Ишимская степь (Ишим-Иртышское степное междуречье) представляет собой важный аграрный регион Сибири, в пределах которого сельское хозяйство специализируется на производстве преимущественно яровых зерновых культур и многолетних трав. Получение высоких стабильных урожаев возделываемых культур в пределах названного района зависит от влияния многих природных факторов. Среди них можно выделить: контрастный режим влажности пахотных почв в течение теплого сезона года, продолжительное и глубокое сезонное промерзание почвенно-грунтовых толщ и позднее их прогревание до активных температур (Кравцов, 2024), близкое к земной поверхности залегание минерализованных грунтовых вод, засоленность глубоких горизонтов почв, динамичность солевого состава почв во времени и в пространстве. Изменение содержания влаги в почве приводит к нарушению термодинамического баланса в ионно-солевой системе, что влечет за собой изменение концентрации и состава почвенных растворов (Попов, 2020).

Поскольку солевой состав почв оказывает непосредственное влияние на глубину проникновения корневой массы культурных растений и доступность запасов влаги для выращиваемых культур, установление закономерностей преобразования солевого состава почв является важной практической задачей (Попов, 2019; Попов, 2022).

Цель исследования: изучить преобразование солевого состава почв Ишимской степи при изменении их влажности путем сравнения химического состава водной вытяжки и почвенного раствора при естественной и повышенной влажности этих почв.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ проводили на почвенных образцах, отобранных в степной зоне Ишимской равнины в пределах Омской области. Почвенный покров данной территории сформирован, преимущественно, лугово-степными комплексами, господствующее положение в которых занимают черноземы южные маломощные, малогумусные и карбонатные (Панфилов и др., 1988). Характерной особенностью данных черноземов является засоление нижних горизонтов почвенного профиля и подстилающих пород. В комплексе с ними, в пределах замкнутых микропонижений рельефа, характеризующихся дополнительным поверхностным увлажнением, залегают черноземно-луговые и лугово-черноземные почвы. Пологие склоны немногочисленных мезопонижений заняты почвами различной степени луговости. Площадь солонцовых почв невелика. Они формируются в виде пятен в комплексе с солончаковатыми лугово-черноземными и черноземно-луговыми почвами вокруг мезопонижений.

Солевые профили автономных почв характеризуются единообразным строением. В них выделяются три основные зоны: зона выщелачивания легкорастворимых солей с незасоленной верхней и слабо засоленной (до 2–4 ммоль(экв)/100 г) нижней половиной; гипсово-аккумулятивная зона с повышенным содержанием сульфатов кальция и магния в водных вытяжках; безгипсовая зона с равномерным распределением солей на глубине до 4–6 метров, где наблюдается увеличение хлоридно-сульфатного коэффициента с увеличением глубины. Региональные и зональные различия в степени засоления почв и глубине залегания солевых горизонтов объясняются климатическими особенностями и гранулометрическим составом почвообразующих пород (Сеньков, 2004).

Грунтовые воды минерализованы в строгом соответствии с засолением вмещающих пород зоны аэрации. Это же, в целом, относится и к солевому составу грунтовых вод и вмещающих пород (Сеньков, 1988).

В данной статье представлены результаты по пяти почвенным разрезам: солонец глубокий малонатриевый чернозёмный (Haplic Solonetz; 53°46'8,25" с.ш., 74°5'51,12" в.д.) и чернозём южный глубокосолончаковатый (Salic Chernozem; 53°46'17,71" с.ш., 74°5'40,21" в.д.) расположены к юго-востоку от д. Ротовка Русско-Полянского района; солонец средний средненатриевый черноземно-луговой (Gleyic Solonetz; 53°43'27,04" с.ш., 73°47'30,91" в.д.) и солонец мелкий средненатриевый черноземно-луговой (Gleyic Solonetz; 53°43'17,05" с.ш., 73°47'29,71" в.д.) находятся к западу от д. Невольное Русско-Полянского района; солончак типичный глубокопрофильный (Haplic Solonchak; 54°34'29,59" с.ш., 73°35'16,60" в.д.) расположен к западу от р.п. Таврическое Таврического района. Названия почв выше приведены согласно классификации почв СССР (Классификация ..., 1977) и международной классификации World Reference Base for Soil Resources (WRB, 2022).

Из разрезов глубиной до 1,5 м отбирали образцы по генетическим горизонтам. Со дна разреза до водоносного горизонта отбор образцов осуществляли при помощи ручного бурения. Отобранные образцы, во избежание изменения влажности, плотно упаковывали в полиэтиленовые пакеты и транспортировали в лабораторию. В лабораторных условиях одна часть почвенного образца уходила на определение влажности почвы и выделение почвенного раствора естественной влажности. Другую часть увлажняли путем добавления дистиллированной воды (в количестве 50 мл на 500 г почвы) и плотно упаковывали. После чего выжидали двое суток для восстановления термодинамического равновесия в системе «вода–почва», с последующим отпрессовыванием почвенного раствора. Третью часть почвенного образца высушивали до воздушно-сухого состояния и использовали для исследования химического состава водной вытяжки.

При изучении динамики солевого состава почв использовали сравнение химического состава водной вытяжки, увлажненного почвенного раствора и почвенного раствора при естественной влажности. Для приготовления водной вытяжки применяли традиционное для России соотношение 1 : 5 (почва : вода). Для получения почвенных растворов применяли метод отделения почвенных растворов от твердой фазы почв при помощи давления (рис. 1), разработанный П.А. Крюковым (1971) и усовершенствованный А.А. Сеньковым (2004).

Аналитические работы осуществляли в ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск). Определение рН почвы проводили потенциометрическим методом по ГОСТ 26423-85, определение ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке – по ГОСТ 26424-85, хлорид-ионов и сульфат-ионов – по ГОСТ-26425-85, ионов натрия и калия – по ГОСТ 26427-85, ионов кальция и магния – комплексометрическим методом по ГОСТ 26428-85 (Минеев, 2001). Влажность грунта устанавливали термостатно-весовым методом (Шейн и др., 2016). Химический анализ почвенных образцов проводили в трех аналитических повторностях ($n = 3$).

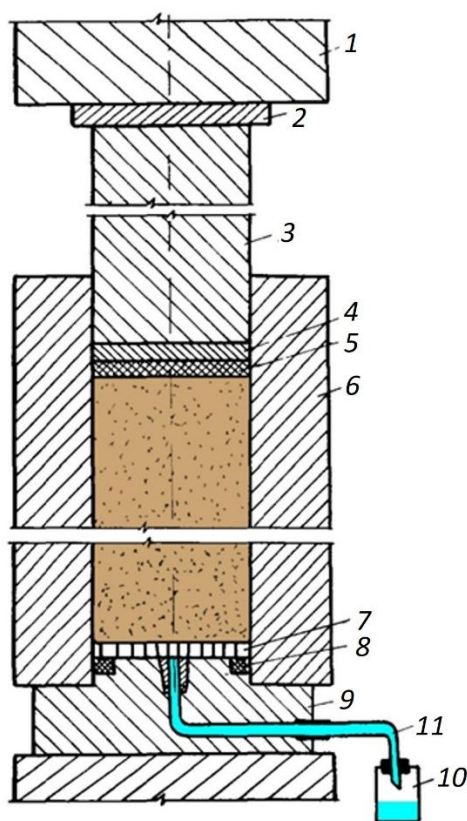


Рисунок 1. Схема для отпрессовывания почвенных растворов. 1 – площадка пресса; 2 – стальная прокладка; 3 – поршень; 4 – эбонитовый диск; 5 – резиновая прокладка; 6 – цилиндр; 7 – поршень; 8 – резиновое кольцо; 9 – поддонник; 10 – приёмник. Составлено по: (Крюков, 1971).

Химизм засоления почвенных растворов устанавливали по классификации (Базилевич, Панкова, 1968), основанной на оценке засоления по преобладанию, как катионов, так и анионов. Данная классификация применяется в настоящее время (Засоленные почвы России, 2006; Черноусенко и др., 2017).

Рассчитывали средние арифметические значения, значимость различий оценивали при $P = 0,95$. Для анализа данных использовали MS Excel 2010 и библиотеку статистической обработки данных Pandas 2.2.3 для языка Python 3.12.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравнение химического состава почвенных растворов естественной влажности, увлажненных почвенных растворов и водной вытяжки было проведено на примере солонца глубокого малонатриевого чернозёмного тяжелосуглинистого. Характерными особенностями данной почвы являются: достаточно глубокое залегание грунтовых вод (520 см), наличие двух аккумулятивно-гипсовых горизонтов на глубине 65–75 см и 180–200 см, высокое содержание обменного магния в солонцовом горизонте (более 45% от ЕКО). Ионный состав почвенных растворов представлен в табл. 1. Очевидно, что увеличение влажности почвы сопровождается снижением минерализации почвенных растворов, однако динамика концентраций отдельных ионов не пропорциональна данному снижению.

Прямое сопоставление результатов водной вытяжки и почвенных растворов затруднительно по причине существенных различий в количестве ионов. Поэтому данные о концентрации ионов были пересчитаны на содержание их в 100 г почвы по следующей формуле (Засоленные почвы России, 2006):

$$S = \frac{C(W - W_r)}{1000}$$

где S – концентрация иона, ммоль(экв)/100 г;

C – концентрация иона в почвенном растворе, ммоль(экв)/л;

W – влажность почвы, из которой получен раствор, %;

W_r – влажность гигроскопическая, %.

Результаты получившихся аналитических данных представлены в таблице 2.

Таблица 1

Концентрация основных солеобразующих ионов в почвенных растворах солонца глубокого малонатриевого при различной влажности (среднее арифметическое, n = 3)

Глубина, см	Влажность, %	Сумма солей, г/л	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
			ммоль(экв)/л					
0–25	11,0	2,27	1,80	18,00	1,44	16,80	9,50	9,65
	23,9	1,25	3,80	7,50	0,98	6,60	4,25	6,70
30–40	13,5	19,90	4,80	286,00	12,76	68,40	112,50	166,96
	20,9	13,39	4,00	182,00	14,03	46,20	79,17	112,18
42–52	16,0	30,17	6,00	426,00	79,06	76,80	208,34	244,18
	25,1	20,63	4,40	282,00	57,30	43,80	123,00	189,40
52–62	18,5	32,56	6,00	459,00	98,60	76,80	212,50	269,23
	23,6	24,51	4,80	335,00	76,49	53,40	154,17	220,18
65–75	18,2	32,91	6,40	456,00	108,40	77,40	227,17	272,36
	24,2	23,94	5,60	308,00	98,42	58,20	139,67	204,53
85–95	14,8	33,54	6,00	493,00	95,84	79,80	229,17	276,53
	18,0	24,70	4,40	349,00	79,49	57,00	150,00	219,14
107–117	11,6	34,59	5,60	510,00	92,68	90,00	254,17	284,88
140–150	11,6	37,39	3,60	582,00	90,38	99,00	266,67	292,19
180–200	12,2	37,08	5,60	574,00	90,22	96,00	245,84	301,06
250–270	11,4	32,02	3,20	495,00	80,88	81,00	185,50	276,53
360–370	19,3	24,83	3,60	367,00	66,74	68,20	128,84	232,36
420–450	22,6	23,79	4,00	352,00	62,42	64,80	120,84	226,16
500–520	23,9	21,55	4,40	318,00	59,74	60,00	108,34	196,70

Таблица 2

Содержание основных солеобразующих ионов в почвенных растворах при различной влажности и в водной вытяжке солонца глубокого малонатриевого (среднее арифметическое, n = 3)

Глубина, см	Влажность, %	Сумма солей, %	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
			ммоль(экв)/100 г					
0–25	11,0	0,011	0,01	0,14	0,01	0,13	0,08	0,08
	23,9	0,019	0,08	0,16	0,02	0,14	0,09	0,14
	*В.в.	0,057	0,53	0,16	0,13	0,21	0,13	0,29
30–40	13,5	0,183	0,05	3,00	0,13	0,72	1,18	1,75
	20,9	0,210	0,07	3,26	0,25	0,83	1,42	2,01
	В.в.	0,280	0,50	3,31	0,82	0,21	0,47	3,65
42–52	16,0	0,374	0,08	5,54	1,03	1,00	2,71	3,17
	25,1	0,434	0,10	6,23	1,27	0,97	2,72	4,19
	В.в.	0,478	0,59	5,47	1,86	0,37	0,75	6,30
52–62	18,5	0,487	0,09	7,11	1,53	1,19	3,29	4,17
	23,6	0,488	0,10	6,90	1,58	1,10	3,18	4,54
	В.в.	0,530	0,76	5,96	2,02	0,52	1,12	6,70
65–75	18,2	0,488	0,10	6,93	1,65	1,18	3,45	4,14
	24,2	0,496	0,12	6,53	2,09	1,23	2,96	4,34
	В.в.	1,214	0,49	6,32	12,52	6,36	5,00	7,60
85–95	14,8	0,388	0,07	5,82	1,13	0,94	2,70	3,26
	18,0	0,365	0,07	5,24	1,19	0,86	2,25	3,29
	В.в.	0,544	0,65	5,78	2,57	0,77	1,47	6,33
107–117	11,6	0,293	0,05	4,39	0,80	0,77	2,19	2,45
	В.в.	0,592	0,54	4,68	4,27	1,59	2,20	5,74
140–150	11,6	0,317	0,03	5,01	0,78	0,85	2,29	2,51
	В.в.	0,470	0,62	4,96	2,17	0,52	1,00	5,74
180–200	12,2	0,336	0,05	5,28	0,83	0,88	2,26	2,77
	В.в.	1,248	0,50	5,20	13,95	7,46	5,41	6,58
250–270	11,4	0,266	0,03	4,16	0,68	0,68	1,56	2,32
	В.в.	0,453	0,63	5,52	1,58	0,42	0,82	5,54
360–370	19,3	0,400	0,06	5,98	1,09	1,11	2,10	3,79
	В.в.	0,497	0,63	5,82	1,98	0,57	0,90	5,99
420–450	22,6	0,461	0,08	6,90	1,22	1,27	2,37	4,43
	В.в.	0,531	0,62	6,36	1,96	0,67	0,97	6,59
500–520	23,9	0,445	0,09	6,65	1,25	1,25	2,26	4,11
	В.в.	0,523	0,60	6,08	2,05	0,75	0,89	6,48

Примечание. * Водная вытяжка.

ОБСУЖДЕНИЕ

Аналитические данные показывают, что дополнительное увлажнение почвы приводит к увеличению концентрации в ней легкорастворимых солей. Это обусловлено растворением твердых солей, присутствующих в почве, а также с процессами ионного обмена. Среднее значение суммы солей по профилю солонца глубокого малонатриевого в водной вытяжке на 67% больше, чем в почвенном растворе. Такое увеличение обусловлено, главным образом, возрастанием концентраций HCO_3^- , SO_4^{2-} и Na^+ . Концентрация иона Cl^- остается практически неизменной при динамике влажности, поскольку хлоридные соли обладают высокой растворимостью и, следовательно, максимально присутствуют в растворе. Исключение составляют случаи, когда соединения хлора, находясь в кристаллическом виде, полностью не переходят в раствор при отпрессовывании почвенного раствора. В слое 52–75 см, напротив, наблюдается уменьшение содержания хлоридов в водной вытяжке на 12% по сравнению с почвенным раствором; однако в среднем по профилю разница составляет менее 2%. Вероятно, это явление, несмотря на то, что поглощение иона Cl^- в почве сильно ограничено, связано с адсорбцией анионов (Bresler et al., 1982), особенно характерной для почв с нейтральной и кислой средой.

Количество HCO_3^- в водных вытяжках оказывается значительно большим, чем в почвенных растворах. Это обусловлено частичным растворением CaCO_3 и MgCO_3 при повышении увлажнения почвы, что приводит к увеличению их количества в почвенных растворах, и, особенно, в водных вытяжках. В среднем по профилю количество аниона в вытяжке в 10 раз превышает таковое в почвенном растворе.

Содержание сульфат-иона в водных вытяжках связано с присутствием кристаллического гипса в почве, который при возрастании увлажнения переходит из твердой фазы в почвенный раствор. Поэтому содержание SO_4^{2-} в вытяжках из гипсосодержащих слоев всегда завышено и обусловлено растворяющимся сульфатом кальция. Так, в гипсовых горизонтах солонца (65–75 см и 180–200 см) отмечается скачкообразное повышение количества SO_4^{2-} в водной вытяжке, которое более чем в десять раз превышает значения в почвенном растворе. Данное явление хорошо известно, поэтому при оценке засоления принято расчетным способом находить содержание токсичных солей и по нему оценивать степень засоления почвы (Минашина, 1970; Муратова, Маргулис, 1971; Базилевич, Панкова, 1972). Однако такую оценку засоления почв нельзя считать корректной. Дело в том, что при проведении расчетов из общего количества перешедших в водную вытяжку солей вычитают все количество SO_4^{2-} , Ca^{2+} и предполагаемых карбонатных ионов, оказавшихся в водной вытяжке вследствие растворения гипса и карбоната кальция, тогда как в реальной почве часть этих ионов находится в составе почвенного раствора, влияет на осмотическое давление почвенной влаги, степень и химизм засоления почвенного раствора и почвы в целом (Засоленные почвы России, 2006).

При повышении влажности в почвенном растворе, помимо растворения твердых солей, активно протекают реакции ионного обмена между катионами ППК. В каждом из исследованных почвенных образцов рассматриваемого разреза отмечается увеличение концентрации катионов Na^+ в водной вытяжке по сравнению с почвенным раствором. В среднем по профилю увеличение Na^+ произошло на 89%, при этом наибольшие значения разницы в концентрациях (3,46 и 3,81 ммоль(экв)/100 г) приходятся на гипсовые горизонты (65–75 и 180–200 см, соответственно).

В образцах, не содержащих гипс, наблюдается снижение содержания ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} (в среднем на 36% и 46%, соответственно) в водной вытяжке по сравнению с почвенным раствором. Данное явление обусловлено тем, что увлажнение почвы приводит к увеличению коэффициентов активности двухвалентных катионов в большей степени, чем одновалентных, вследствие распада ионных комплексов (Bresler et al., 1982). В результате этого процесса ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} поглощаются из раствора, а ионы Na^+ вытесняются из почвенного комплекса в раствор. Таким образом, с увеличением влажности почвы концентрация ионов Na^+ в почвенном растворе возрастает, тогда как содержание ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в безгипсовых горизонтах снижается.

В содержащих гипс образцах наблюдается явление синхронного увеличения кальция и магния в водной вытяжке. Данное явление присуще абсолютно всем почвам, в профиле которых присутствует то или иное количество гипса (Сеньков, 1988). Увеличение Ca^{2+} , как отмечалось выше, обусловлено переходом кальция гипса из фазы твердых солей в почвенный раствор. Увеличение содержания ионов Mg^{2+} происходит вследствие вытеснения магния из почвенно-поглощающего комплекса кальцием, который высвобождается при растворении кристаллов гипса (Панин и др., 1977; Сеньков, 1988). В результате концентрация Ca^{2+} и Mg^{2+} в водной вытяжке из гипсоносных горизонтов значительно превышает их реальное содержание в почвенных растворах. Согласно данным других исследований (Почвообразование и антропогенез ..., 1991), химический состав почвенных растворов не зависит от

количества гипса в почве. Различия в результатах определений не являются статистически значимыми и находятся в пределах погрешности.

Таким образом, при увеличении влажности почвы происходит растворение твердых солей, а также активно протекают реакции ионного обмена между образующимся раствором солей и обменными основаниями почвы. Эти процессы приводят, в том числе, к изменению ионного состава водной вытяжки, который становится отличным от состава почвенного раствора естественной влажности. Степень искажения зависит от концентрации и состава солей, емкости катионного обмена и состава поглощенных оснований. Следовательно, установление корреляционных связей между составом почвенного раствора и водной вытяжки затруднительно (рис. 2). Самые большие значения коэффициента детерминации наблюдаются между ионами хлора и ионами натрия ($R^2=0,37$ и $R^2=0,36$, соответственно). Хотя данные значения характеризуют умеренную объясняющую способность, тем не менее, недостаточны для построения прогноза.

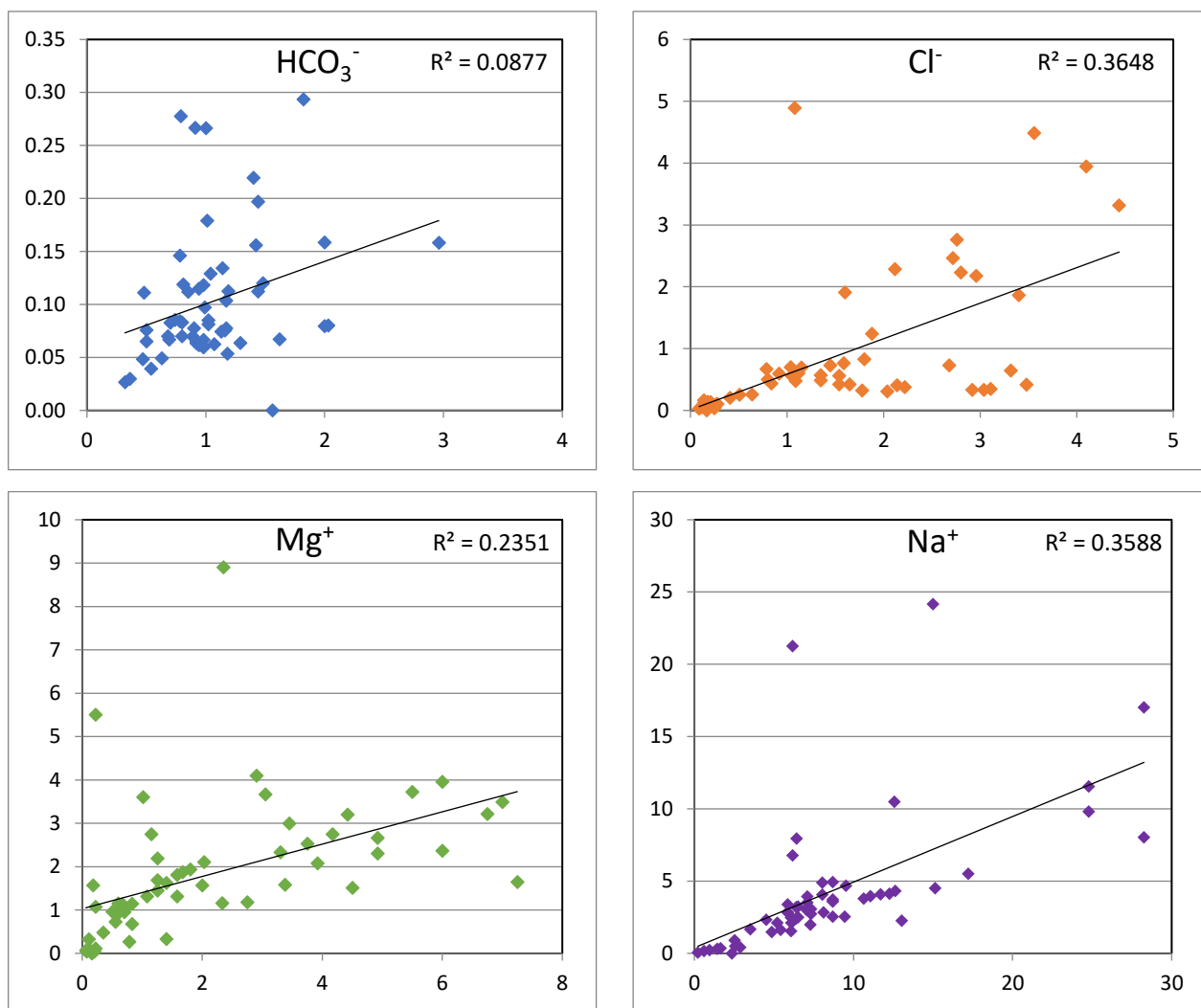


Рисунок 2. Зависимость содержания ионов почвенного раствора от содержания их в водной вытяжке (ммоль(экв)/100 г). Ось x – водная вытяжка, ось y – почвенный раствор. Величина $P < 0,05$.

При увеличении влажности происходит изменение в соотношении между отдельными ионами, что существенно изменяет химизм засоления. Как видно из таблицы 3, тип засоления по анионам совпадает лишь в слое 30–40 см, а по катионам – только в слое 107–117 см. Химизм засоления в водной вытяжке сильно варьирует, тогда как в почвенных растворах во всём профиле он одинаковый. Только в поверхностном слое наблюдается преобладание солей кальция, что закономерно.

Таблица 3

Химизм засоления солонца глубокого малонатриевого в почвенных растворах и водных вытяжках

Глубина, см	Почвенные растворы		Водная вытяжка	
	По соотношению анионов	По соотношению катионов	По соотношению анионов	По соотношению катионов
0–25	Хлоридный	Кальциевый	Гидрокарбонатный	Кальциево-натриевый
30–40	Хлоридный	Магниево-натриевый	Хлоридный	Натриевый
42–52	Хлоридный	Магниево-натриевый	Сульфатно-хлоридный	Натриевый
52–62	Хлоридный	Магниево-натриевый	Сульфатно-хлоридный	Натриевый
65–75	Хлоридный	Магниево-натриевый	Хлоридно-сульфатный	Кальциево-натриевый
85–95	Хлоридный	Магниево-натриевый	Сульфатно-хлоридный	Натриевый
107–117	Хлоридный	Магниево-натриевый	Сульфатно-хлоридный	Магниево-натриевый
140–150	Хлоридный	Магниево-натриевый	Сульфатно-хлоридный	Натриевый
180–200	Хлоридный	Магниево-натриевый	Хлоридно-сульфатный	Натриево-кальциевый
250–270	Хлоридный	Магниево-натриевый	Сульфатно-хлоридный	Натриевый
360–370	Хлоридный	Магниево-натриевый	Сульфатно-хлоридный	Натриевый
420–450	Хлоридный	Магниево-натриевый	Сульфатно-хлоридный	Натриевый
500–520	Хлоридный	Магниево-натриевый	Сульфатно-хлоридный	Натриевый

В данном случае (табл. 3), при естественной влажности почвенный раствор относится по соотношению анионов к хлоридному, а по соотношению катионов – к магниево-натриевому типу.

Графическое представление ионного состава (рис. 3), полученное на основе химического анализа водных вытяжек и почвенных растворов, указывает на значительное различие между этими ионно-солевыми профилями.

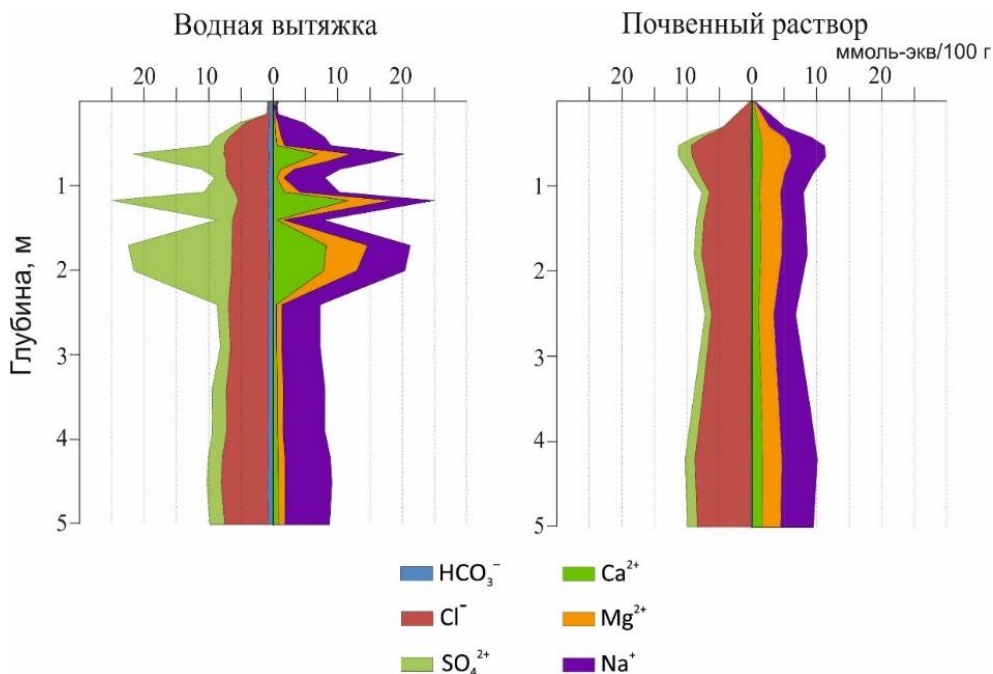


Рисунок 3. Ионно-солевой состав солонца глубокого по результатам водной вытяжки и почвенного раствора.

В других почвах на исследуемой территории (чернозёмы южные глубокосолончаковатые, солонцы средние средненатриевые черноземно-луговые, солонцы мелкие средненатриевые черноземно-луговые, солончаки типичные глубокопрофильные) наблюдаются те же закономерности в поведении ионов при увеличении влажности (рис. 4), характерные для солонца глубокого малонатриевого, описанного выше.

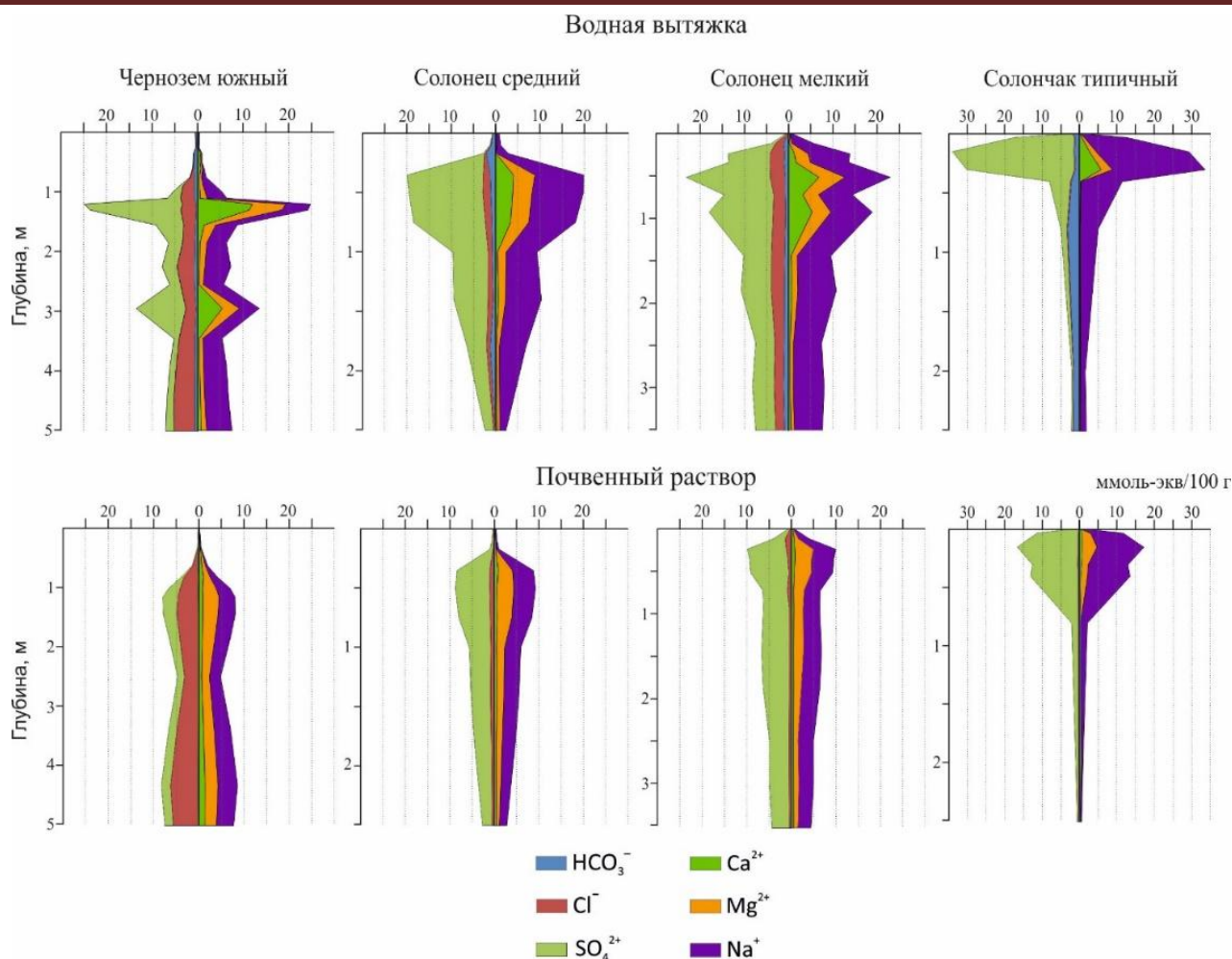


Рисунок 4. Ионно-солевой состав почв Ишимской степи по результатам водной вытяжки и почвенного раствора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования позволяют заключить, что увеличение влажности приводит к изменению почвенного раствора по соотношению анионов в направлении сульфатного, а иссушение – в направлении хлоридного типа; по соотношению катионов при увеличении влажности – к натриевому, а при иссушении – к магниевому типу.

В климатическом плане на исследуемой территории сложилась несколько противоречивая ситуация. С одной стороны, фиксируется аридизация климата за счет общего тренда повышения среднегодовой температуры (Третий оценочный доклад ..., 2022), с другой, из-за массовой распашки и функционирования полезащитных лесополос отмечается повсеместный подъем грунтовых вод и, как следствие, увеличение влажности нижней части зоны аэрации почв (Кравцов, 2009; Кравцов, 2014; Кравцов, Смоленцева, 2022). Если эта тенденция сохранится, то можно ожидать в почвах Ишимской степи, где грунтовые воды залегают ниже критической глубины (для данной территории 3,9 м), сдвиг химизма засоления в сторону хлоридно-магниевого типа и увеличение кристаллизации гипса в верхней части профиля. Напротив, в почвах гидроморфного ряда следует ожидать смещение химизма засоления в сторону сульфатно-натриевого типа, вследствие увеличения их влажности. Тяжелый гранулометрический состав этих почв и близкое к поверхности залегание грунтовых вод не дадут растворенному натрию покинуть почвенный профиль, что создает риск увеличения площади солонцовых почв.

Во избежание осолонцевания почв гидроморфного и полугидроморфного ряда рекомендуется провести мелиоративные мероприятия, направленные, прежде всего, на управление водным режимом территории – оптимизацию структуры лесополос посредством прореживания густых посадок для снижения их транспирационного воздействия на грунтовые воды, создание горизонтального дренажа для принудительного отвода грунтовых вод и понижения их уровня ниже критической отметки.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны А.А. Сенькову, идеи которого послужили основанием для данной работы.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00104 (<https://rscf.ru/project/24-26-00104/>).

ЛИТЕРАТУРА

- Базилевич Н.И., Панкова Е.И. Опыт классификации почв по засолению // Почвоведение. 1968. № 11. С. 3–16.
- Базилевич Н.И., Панкова Е.И. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 1972. Вып. 5. С. 36–40.
- Засоленные почвы России. Под ред. А.В. Соколова. Москва: ИКЦ «Академ-книга», 2006. 854 с.
- Классификация и диагностика почв СССР / Составители: В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розова, В.А. Носин, Т.А. Фриев. Москва: Колос, 1977. 224 с.
- Кравцов Ю.В. Подъем грунтовых вод в Ишимской степи // Сибирский экологический журнал. 2009. Том 16. № 2. С. 217–222.
- Кравцов Ю.В. Водный режим почв Ишимской степи / Министерство образования и науки РФ, Новосибирский государственный педагогический университет. Новосибирск: Новосибирский государственный педагогический университет, 2014. 252 с.
- Кравцов Ю.В. Факторы зимнего передвижения влаги в пахотных почвах Ишимской степи // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024. Том 54. № 8. С. 113–121. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-8-12>
- Кравцов Ю.В., Смоленцева Е.Н. Особенности современного генезиса плакорных почв Ишимской степи // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2022. № 111. С. 116–156. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-111-116-156>
- Крюков П.А. Горные, почвенные и иловые растворы. Новосибирск: Наука 1971. 220 с.
- Минашина Н.Г. Токсичные соли в почвенном растворе, их расчет и классификация почв по степени засоления // Почвоведение. 1970. № 8. С. 92–105.
- Минеев В.Г. Практикум по агрохимии Москва: Издательство МГУ, 2001. 687 с.
- Муратова В.С., Маргулис В.Ю. Содержание токсичных солей в водных вытяжках и почвенных растворах гипсоносных почв Голодной степи // Почвоведение. 1971. № 12. С. 87–99.
- Панин П.С., Елизарова Т.Н., Шкаруба А.М. Генезис и мелиорация солонцов Барабы. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1977. 192 с.
- Панфилов В.П., Слесарев И.В., Кудряшова С.Я., Сеньков А.А. Современное гидрологическое состояние почв и подстилающих пород // Черноземы: свойства и особенности орошения / Ответственный за выпуск С.С. Трофимов; Институт почвоведения и агрохимии СО РАН. Новосибирск: Новосибирское отделение издательства «Наука», 1988. С. 47–57.
- Попов В.В. Зональные изменения почвенных растворов солонцовых почв Ишимской равнины. Диссертация ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2019. 177 с.
- Попов В.В. Почвенный раствор и методы его изучения // Почвы и окружающая среда. 2020. Том 3. № 1. e106. <https://doi.org/10.31251/pos.v3i1.106>
- Попов В.В. Обзор результатов исследований почвенных растворов солонцовых почв // Почвы и окружающая среда. 2022. Том 5. № 4. e189. <https://doi.org/10.31251/pos.v5i4.189>
- Почвообразование и антропогенез: Структурно-функциональные аспекты / Ф.А. Факулин, А.В. Чичулин, А.А. Сеньков и др. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1991. 188 с.
- Сеньков А.А. Особенности засоления почв, подстилающих пород и грунтовых вод // Черноземы: свойства и особенности орошения / Под ред. И.М. Гаджиева. Новосибирск: Наука, 1988. 256 с.
- Сеньков А.А. Галогенез степных почв (на примере Ишимской равнины). Новосибирск: Издательство СО РАН, 2004. 152 с.
- Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Е.М. Аментьева, А.М. Алейникова, Г.В. Алексеев [и др.]. Санкт-Петербург: Издательство «Наукоемкие технологии», 2022. 676 с.

Черноусенко Г.И., Панкова Е.И., Калинина Н.В., Убугунова В.И., Рухович Д.И., Убугунов В.Л., Цыремпилов Э.Г. Засоленные почвы Баргузинской котловины // Почвоведение 2017. № 6. С. 652–671. <https://doi.org/10.7868/Б0032180ХГ706003Х>

Шейн Е.В., Мазиров М.А., Зинченко С.И., Гончаров В.М., Корчагин А.А., Умарова А.Б., Милановский Е.Ю. Агрофизика. Владимир: Издательство ВНИИСХ, 2016. 124 с.

Bresler E., McNeal B.L., Carter D.L. Saline and Sodic Soils: Principles-Dynamics-Modeling. Springer Berlin Heidelberg, 1982. 236 p.

IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022. 236 p.

Поступила в редакцию 21.07.2025

Принята 24.09.2025

Опубликована 29.09.2025

Сведения об авторах:

Попов Владимир Викторович – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); vik632288@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3859-1032>

Кравцов Юрий Васильевич – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры географии, регионоведения и туризма ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет» (г. Новосибирск, Россия); kravtsov60@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0462-9194>

Елизаров Николай Владимирович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); elizarov_89@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9647-3317>

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Salt composition transformation in the Ishim steppe soils with changes in their moisture

© 2025 V. V. Popov ¹, Yu. V. Kravtsov ², N. V. Elizarov ¹

¹Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lavrentieva, 8/2, Novosibirsk, Russia. E-mail: vik632288@yandex.ru, elizarov_89@mail.ru

²Novosibirsk State Pedagogical University, st. Vilyuiskaya, 28, Novosibirsk, Russia. E-mail: kravtsov60@mail.ru

The aim of the study. To study the transformation of salt composition in the Ishim steppe soils as related with changes in their moisture content by comparing the chemical composition of the aqueous extract and soil solution under natural and increased moisture content.

Location of the study. The analysis was carried out with soil samples collected in the Ishim-Irtysh steppe interfluvium (Ishim steppe) within the Omsk region (Russia).

Methods. A comparative analytical method was used to compare the chemical composition of the aqueous extract, moistened soil solution and soil solution of natural moisture.

Results. The effect of moisture change on the ion-salt system of heavy loamy soils of the Ishim steppe was studied. With an increase in the soil moisture content the amount of dissolved salts in it invariably increased, which is associated with the solubility of both solid salts in soil and with the ongoing ion exchange processes. Such an increase is mainly due to the increased bicarbonate, sulfate and sodium concentrations. In gypsum-free samples, the decreased content of calcium and magnesium ions in the aqueous extract was observed, as compared with the soil solution. In gypsum-containing samples, on the contrary, an abrupt synchronous increase occurred not only in calcium and sulfate ions content, but also in magnesium in the aqueous extract. With an increase in soil moisture, a change in the ratio between individual ions occurred, significantly affecting the chemistry of salinization.

Conclusions. The increase in soil moisture was shown to shift the ratio of anions in the soil solution towards the sulfate, whereas soil drying shifted the ratio to the chloride type. As for the ratio of cations, increased soil moisture shifted it towards the sodium type and soil drying towards the magnesium type.

Keywords: Ishim steppe; soil solution; water extract; soil moisture; salt composition, salinization, ion-salt profile.

How to cite: Popov V.V., Kravtsov Yu.V., Elizarov N.V. Salt composition transformation in the Ishim steppe soils with changes in their moisture. *The Journal of Soils and Environment*. 2025. 8(3). e322. DOI: [10.31251/pos.v8i3.322](https://doi.org/10.31251/pos.v8i3.322) (in Russian with English abstract).

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors express their deep appreciation and heartfelt gratitude to A.A. Senkov, whose ideas served as the basis for this work.

FUNDING

The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation within the framework of scientific project No. 24-26-00104.

REFERENCES

- Bazilevich N.I., Pankova E.I. Experience in classifying soils by salinity. *Pochvovedenie*. 1968. No. 11. P. 3–16. (in Russian).
- Bazilevich N.I., Pankova E.I. Experience in classifying soils by the content of toxic salts and ions. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 1972. Iss. 5. P. 36–40. (in Russian).
- Saline soils of Russia / A.V. Sokolov (ed.). Moscow: Akadem-kniga, 2006. 854 p. (in Russian).
- Classification and diagnostics of soils of the USSR / Compiled by: V.V. Egorov, V.M. Friedland, E.N. Ivanova, N.N. Rozova, V.A. Nosin, T.A. Frieve. Moscow: Kolos Publ., 1977. 224 p. (in Russian).
- Kravtsov Yu.V. Lifting of subsoil waters in the Ishimskaya steppe. *Sibirskij Ekologicheskij Zhurnal*. 2009. Vol. 16. No. 2. P. 217–222. (in Russian).
- Kravtsov Yu.V. Water regime of soils of the Ishim steppe / Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Novosibirsk State Pedagogical University. Novosibirsk: Novosibirsk State Pedagogical University Publishing House, 2014. 252 p. (in Russian).
- Kravtsov Yu.V. Factors of winter moisture movement in arable soils of the Ishim steppe. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2024. Vol. 54. No. 8. P. 113–121. (in Russian). <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-8-12>
- Kravtsov Yu., Smolentseva E. Features of modern genesis of the Ishim steppe watershed plain soils. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2022. P. 116–156. (in Russian). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-111-116-156>
- Kryukov P.A. Mountain, soil and silt solutions. Novosibirsk: Nauka Publ., 1971. 220 p. (in Russian).
- Minashina N.G. Toxic salts in soil solution, their calculation and classification of soils by the degree of salinization. *Pochvovedenie*. 1970. No. 8. P. 92–105. (in Russian).
- Mineev V.G. Agrochemistry Workshop Moscow: Moscow State University Publishing House, 2001. 687 p. (in Russian).
- Muratova V.S., Margulis V.Yu. Content of Toxic Salts in Aqueous Extracts and Soil Solutions of Gypsum-Bearing Soils of the Hungry Steppe. *Pochvovedenie*. 1971. No. 12. P. 87–99. (in Russian).
- Panin P.S., Elizarova T.N., Shkarupp A.M. Genesis and Melioration of Baraba Solonetz Soils. Novosibirsk: Nauka Publ. Siberian Branch, 1977. 192 p. (in Russian).
- Panfilov V.P., Slesarev I.V., Kudryashova S.Ya., Senkov A.A. Current hydrological state of soils and underlying rocks. In book: *Chernozems: properties and irrigation features* / Responsible for the release S.S. Trofimov; Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS. Novosibirsk: Novosibirsk Branch of the Nauka Publishing House, 1988. P. 47–57. (in Russian).
- Popov V.V. Zonal changes in soil solutions of solonchic soils of the Ishim Plain. Dissertation ... Cand. Biol. Sci. Novosibirsk, 2019. 177 p. (in Russian).
- Popov V. V. Soil solution and methods of its investigation. *The Journal of Soils and Environment*. 2020. Vol. 3. No. 1. e106. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v3i1.106>
- Popov V.V. Soil solution studies in solonchic soils: review of the results. *The Journal of Soils and Environment*. 2022. Vol. 5. No. 4. e189. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v5i4.189>
- Soil formation and anthropogenesis: Structural and functional aspects / F.A. Fakulin, A.V. Chichulin, A.A. Senkov, et al. Novosibirsk: Nauka Publ. Siberian Branch, 1991. 188 p. (in Russian).
- Senkov A.A. Features of salinization of soils, underlying rocks and groundwater. In book: *Chernozems: properties and features of irrigation*. Ed. by I.M. Gadzhiev. Novosibirsk: Nauka Publ., 1988. 256 p. (in Russian).

Senkov A.A. Halogenesis of steppe soils (using the Ishim plain as an example). Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2004. 152 p. (in Russian).

The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation / E.M. Akentieva, A.M. Aleynikova, G.V. Alekseev [et al.]. Saint Petersburg: Science-intensive Technologies Publishing House, 2022. 676 p. (in Russian).

Chernousenko G.I., Pankova E.I., Kalinina N.V., Rukhovich D.I., Ubugunova V.I., Ubugunov V.L., Tsyrempilov E.G. salt-affected soils of the Barguzin depression. Eurasian Soil Science. 2017. Vol. 50. No. 6. P. 646–663. <https://doi.org/10.1134/S1064229317060035>

Shein E.V., Mazirov M.A., Zinchenko S.I., Goncharov V.M., Korchagin A.A., Umarova A.B., Milanovsky E.Yu. Agrophysics. Vladimir: VNIISKH Publishing House, 2016. 124 p. (in Russian).

Bresler E., McNeal B.L., Carter D.L. Saline and Sodic Soils: Principles-Dynamics-Modeling. Springer Berlin Heidelberg, 1982. 236 p.

IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022. 236 p.

Received 21 July 2025

Accepted 24 September 2025

Published 29 September 2025

About the authors:

Vladimir V. Popov – Candidate of Biological Sciences, Researcher at the Laboratory of Soil Geography and Genesis, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); vik632288@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3859-1032>

Yuri V. Kravtsov – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Geography, Regional Studies and Tourism, Novosibirsk State Pedagogical University (Novosibirsk, Russia); kravtsov60@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0462-9194>

Nikolay V. Elizarov – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Soil Geography and Genesis, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; elizarov_89@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9647-3317>

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)