

**ИЗМЕНЕНИЕ СТЕПЕНИ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ В АГРОЛАНДШАФТЕ
ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ГРУНТОВЫХ ВОД**

© 2025 г. А.С. Бузуева, Д.И. Губарев

*Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока
Россия, 410010, г. Саратов, ул. Тулайкова, д. 7. E-mail: deneg2@yandex.ru*

Поступила в редакцию 28.10.2024. После доработки 02.02.2025. Принята к публикации 01.03.2025.

Степень распространения, уровень поднятия грунтовых вод и их химический состав главным образом зависят от рельефа местности и от количественных и качественных характеристик выпадающих осадков. В условиях повышения рельефа (середина склона) УГВ отмечается ниже, относительно нижней части склона. В среднем за время исследований разница залегания грунтовых вод скважины с середины поля и скважины в нижней части поля составляет 4.4 раза – 343%. В условиях повышения температурного режима в зимний период, осадки отмечаются в жидком виде, в следствии чего увеличивается внутрипочвенный сток, что в свою очередь сказывается на степени минерализации грунтовых вод. Чем выше концентрация солей в грунтовой воде, тем выше степень засоления почвенных горизонтов. Преобладающие ионы в минерализации природных вод, доминируют и в числе ионов солей почвы.

Ключевые слова: УГВ, минерализация грунтовых вод, засоление почв.

DOI: 10.24412/1993-3916-2025-2-45-52

EDN: FTGVFE

В условиях изменчивости климата в сторону потепления, отмеченное в Нижнем Поволжье в последние десятилетия, происходит смещение типа водного режима, изменение качественного и количественного показателей грунтовых вод, а также химического состава атмосферных осадков, что непосредственно влияет на взаимодействующую систему почва-растение (Бузуева и др., 2023).

На опытной базе ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» в 1990 году заложена сеть гидрогеологических скважин с глубинным отбором проб по различным элементам рельефа с целью мониторинга уровня грунтовых вод (УГВ), а также контроля изменения их химического состава.

Условия аридного климата Саратовской области предполагают недостаточное увлажнение за счет низкого уровня атмосферных осадков и действие высоких температур воздуха, что приводит к низкой степени дренированности почвенных слоев. Вследствие чего отмечается снижение внутрипочвенного стока и усиление испарения влаги, приводящее в засолению почвы (Симонова и др., 2020).

Помимо климата и атмосферных осадков основными факторами влияющими на динамику и химизм грунтовых вод являются водовмещающие породы и рельеф местности (Бузуева и др., 2023).

Материалы и методы

Водоотборы для наблюдения за УГВ и химическим составом расположены на Приволжской возвышенности в г. Саратове на Елшано-Гусельской равнине. Почва, вмещающая исследуемые грунтовые воды представлена черноземом южным, маломощным, малогумусным (Усов, 1948).

В работе представлены данные двух скважин, расположенных в середине склона (скважина № 6) и нижней его части (скважина № 7). Наблюдения за уровнем грунтовых вод и их химическим составом ведутся в результате ежегодного, многолетнего мониторинга.

Показатели Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- в пробах грунтовых вод и атмосферных осадков определяли методом титрования. Уровень pH определяли с использованием иономера. Содержание SO_4^{2-} определяли расчетным методом, сухой остаток термогравиметрическим методом. Показатели K^+ и Na^+ определяли методом пламенной спектрофотометрии (Аринушкина, 1970).

Степень засоления оценивалась по содержанию всех найденных в водной вытяжке ионов.

По степени засоления почвы классифицировались в зависимости от типа химизма засоления (Базилевич, Панкова, 1972).

Результаты и обсуждение

Одной из главных балансовых статей пополнения и определения химического состава грунтовых вод являются атмосферные осадки. Осадки оказывают влияние на грунтовые воды по нескольким направлениям. В первую очередь они снижают количественный показатель легкорастворимых солей водоносных горизонтов, что приводит к снижению концентрации почвенного раствора. Во-вторых, осадки, проходя через атмосферные слои насыщаются различными газами и взвесями, которые в дальнейшем влияют на химические характеристики грунтовых вод (Бузуева и др., 2023).

По данным таблицы 1 химический состав атмосферных осадков за время исследований (1990-2022 гг.) заметно изменился (табл. 1).

Таблица 1. Содержание химических элементов в атмосферных осадках, мг/л.

Годы	Химические элементы, мг/л								
	pH	P ₂ O ₅	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	HCO ₃ ⁻
1991-95	6.8	0.68	4.01	4.57	4.06	3.85	44.32	–	11.20
1996-00	6.7	0.14	1.30	5.30	1.93	4.06	56.37	1.21	9.07
2001-05	6.6	0.15	1.23	5.54	1.71	1.78	18.61	1.39	7.26
2006-10	6.7	0.10	1.75	5.63	2.13	6.50	12.08	1.68	10.87
2011-15	6.8	0.22	2.44	7.00	2.19	10.24	14.50	4.49	19.40
2016-22	6.7	0.10	1.2	6.54	1.20	8.52	28.50	5.74	20.15
Среднее	6.72	0.23	1.99	5.76	2.20	5.83	29.06	2.90	12.99

Химические элементы атмосферных осадков, проходя через почвенные слои, в значительной степени влияют на состав и концентрацию грунтовых вод.

Из данных таблицы видно, как происходит количественное изменение каждого исследуемого элемента. Наибольшее увеличение концентрации отмечены у Cl⁻ в 2.7 раза с 1991 по 2022 гг., максимальные значения отмечены в 2013 г. (20.24 мг/л) и 2014 г. (10.77 мг/л). Также некоторое повышение показателей со временем зафиксированы у Ca²⁺ и HCO₃⁻.

Заметные снижения показателей отмечены у SO₄²⁻ и P₂O₅. Содержание сульфатов упало с 44.32 мг/л до 14.50 мг/л (72.7%), с последующим увеличением до 28.50 мг/л. Наибольшее количество сульфатов отмечено в начальные периоды исследования (1995 и 1996 гг.) – 109.23 и 173.36 мг/л соответственно. Снижение содержания ионов фосфора идет по тому же пути, как и у сульфатов – максимум зафиксирован в начале исследований, с последующим снижением и незначительным повышением в 2011-2015 гг.

За время исследований общая минерализация атмосферных осадков составила в среднем 56.4 мг/л. Пики максимума зафиксированы в 1995-1996 гг. за счет высокого содержания сульфатов (табл. 1). Менее значительные пики повышения общей минерализации отмечены в 2013-2014 и 2022 гг. Минимальное значение – в 1991 г. Разница между критическими точками составляет 893.2%.

Среднее значение количества атмосферных осадков, выпавших за время исследований, составляет 500 мм. Резкие скачки увеличения и уменьшения количества осадков зафиксированы в 2022 г. (738 мм) и 2014 г. (334 мм). Амплитуда колебания составила 404 мм. Промежуточные значения составляют волнообразные изменения с меньшей разницей между показателями (рис. 1).

Грунтовые воды являются значимой частью биосферы, влияющие на совокупность системы «почва-растение». Изменение качественных и/или количественных характеристик водоносных горизонтов непременно отражается на компонентах природной среды (Каюкова, Котова, 2017).

Природные подземные воды включают в себя множество химических элементов, совокупность которых определяет их химический состав. В значительной степени на химизм грунтовых вод влияют комплекс природных и антропогенных факторов: рельеф местности, характеристики водовмещающих пород, атмосферные осадки, а также хозяйственная деятельность человека (Пасмарнова, 2013; Takhteev et al., 2020).

Химический состав грунтовых вод зависит от глубины их залегания, а также от расположения по профилю земной поверхности (Новикова и др., 2011; Молчанова, 2019).

Преобладающим ионом в обеих скважинах является сульфат-ион, с увеличением содержания вниз по рельефу (45.51 – 61.24% от общего содержания химических элементов). Дальнейшее распределение катионов по скважинам идет не одинаково. На водоотборе № 6 также преобладают карбонаты – 20.28%, в то время как на водоотборе № 7 содержание HCO_3^- не превышает 7%. Содержание Ca^{2+} , Na^+ в обеих скважинах довольно высокое – 14.96 и 9.62% (водоотбор № 7) и 10.73 и 13.19% (водоотбор № 6). Содержание хлора выше в середине поля 5.63%, в нижней части поля отмечается снижение его до 3.14%. Магний находится на одном уровне и составляет 4% от общей минерализации. Наименьшая концентрация (< 1%) принадлежат ионам K^+ и CO_3^{2-} .

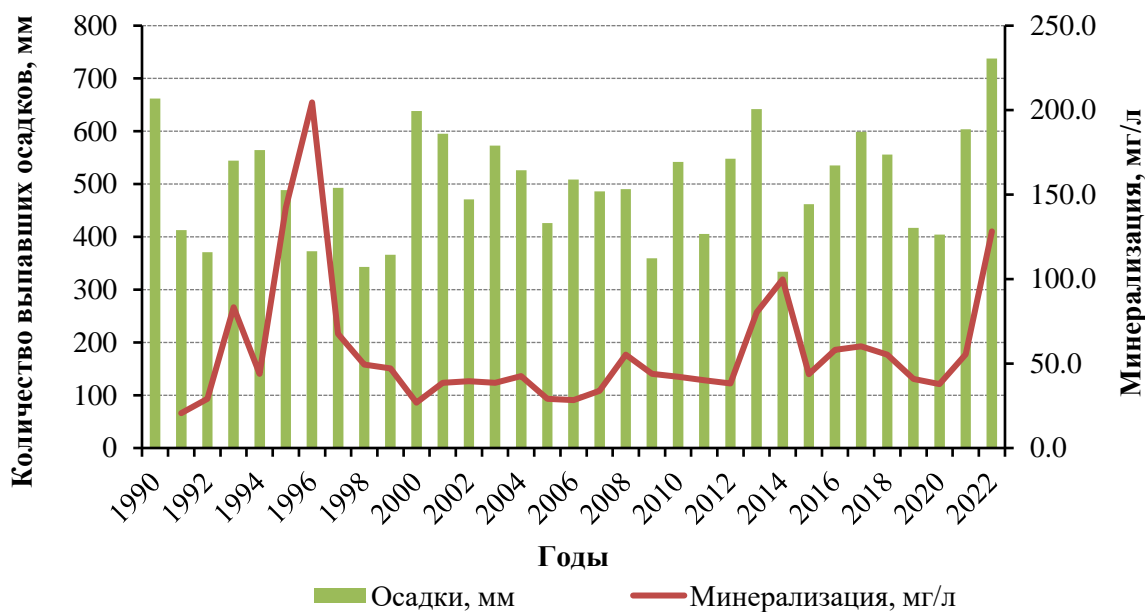


Рис. 1. Количество и минерализация атмосферных осадков.

Наблюдения за динамикой изменения уровня грунтовых вод исследуемых скважин показали значительные различия, связанные, главным образом, с расположением данных скважин по рельефу (рис. 2). Обе скважины расположены в склоново-ложбинном рельефе: № 6 – в верхней части ложбины, в середине поля, обнесенного лесом; № 7 – в нижней части ложбины, внизу поля, перед лесной полосой. Соответственно, чем ниже водосбор расположен по профилю, тем ближе к поверхности верхняя граница грунтовых вод.

Среднегодовое показатели УГВ составляют 120.2 см (скважина № 7) и 532.5 см (скважина № 6). Максимальное поднятие УГВ отмечено в 2019 году по обеим скважинам – 68.0 см внизу поля и 337.8 см в середине поля, а наименьшие значения зафиксированы в 2016 г. – 200.0 см по скважине № 7 и в 1993 г. – 719.8 см по скважине № 6.

По результатам анализа многолетних данных было отмечено два наиболее заметных скачка поднятия уровня грунтовых вод – 2002-2007 и 2017-2022 гг., которые приурочены к повышенному выпадению атмосферных осадков, относительно среднегодовое показателей.

В среднем за тридцатилетний период разница между верхней границей вод изучаемых скважин в различных частях склона составляет 4.4 раза (343%).

Несмотря на разную глубину залегания грунтовых вод в водосборах, отмечается общая тенденция к повышению УГВ, что говорит о преобладании питания грунтовых вод над их разгрузкой. Основными причинами, влияющими на подъем почвенных вод являются: отсутствие весеннего стока, геохимические барьеры в виде лесных полос, а также создаваемые ранее противоэрозионные объекты и другие гидротехнические сооружения в агроландшафте.

На данный момент времени анализ показателей химического состава первого от поверхности водоносного горизонта говорит о преобладании сульфатно-кальциево-натриевого типа.

Преобладание сульфатного типа характерно для территории с выпотным водным режимом, где отмечается концентрация солей вследствие высоких испарительных процессов при не глубоком УГВ.

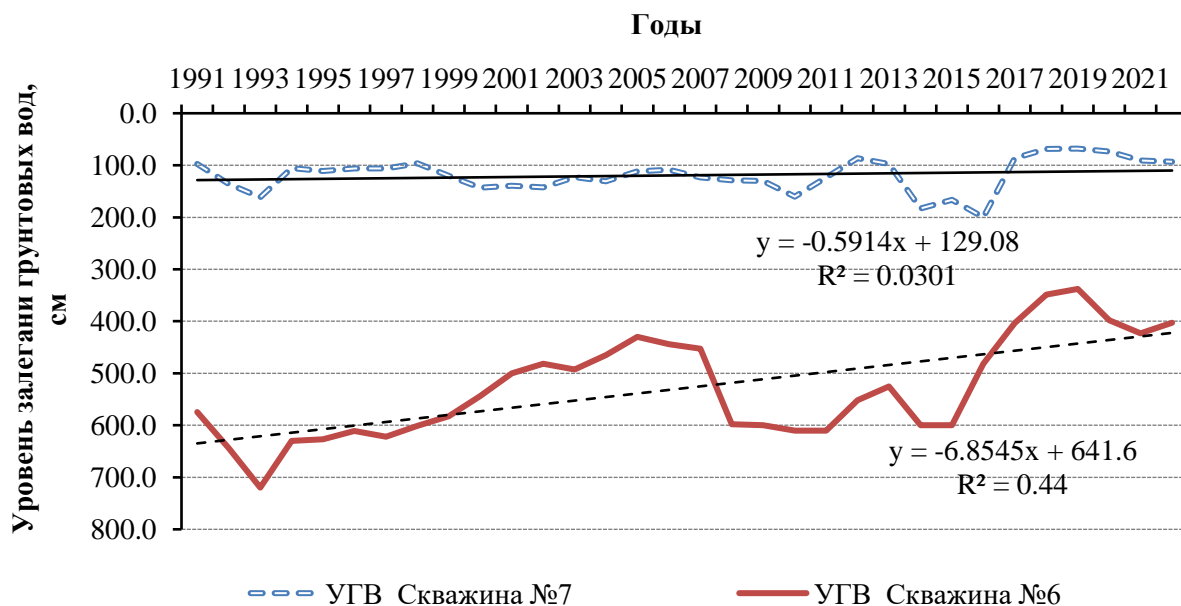


Рис. 2. Уровень залегания грунтовых вод.

С момента начала исследований отмечались количественные изменения как в типе водного режима, так и в степени минерализации. Практически все показатели, составляющие химический состав грунтовых вод исследуемых скважин постоянно увеличиваются с течением времени. Исключения составляют ионы K^+ , CO_3^- и Cl^- , значения которых изменяются волнообразно. В 2001-2010 гг. отмечалось снижение данных показателей по обеим точкам отбора воды, с дальнейшим увеличением к настоящему времени (табл. 2).

Таблица 2. Химический состав грунтовой воды, мг/л.

Химический состав УГВ, мг/л	Скважина № 6			Скважина № 7		
	1991-2000 гг.	2001-2010 гг.	2011-2022 гг.	1991-2000 гг.	2001-2010 гг.	2011-2022 гг.
Ca^{2+}	63.3	88.2	371.3	461.4	651.6	1080.2
Mg^{2+}	31.0	46.6	126.7	124.7	168.1	308.6
Na^+	82.6	79.5	480.4	106.3	398.2	906.1
K^+	3.0	1.5	5.3	3.7	2.6	3.3
CO_3^-	5.2	2.1	5.4	4.0	2.1	10.2
HCO_3^-	226.4	234.2	527.1	285.4	350.7	356.3
Cl^-	89.9	55.3	128.9	247.0	93.9	119.1
SO_4^{2-}	167.9	314.5	1733.9	1300	2635.5	5043.8
Минерализация	690.0	821.9	3379.0	2532.3	4302.6	7827.7

В первое десятилетие исследований в скважине № 6 доминировал HCO_3^- при среднем значении за это время 226.4 мг/л, немного меньше отмечено содержание SO_4^{2-} – 167.9 мг/л. Остальные ионы не превышали значений двузначных чисел. Исходя из этих данных грунтовые воды в скважине № 6 относились к карбонатно-сульфатному типу. В скважине № 7 сульфаты достигают значений четырехзначных чисел (1300 мг/л), значительно превышая содержание других элементов, определяя тип грунтовых вод данной скважины как сульфатно-кальциевый. Кальций ион также занимает довольно высокую позицию – 461.4 мг/л.

Со второго десятилетия исследований особых изменений в скважине № 6 не отмечено, за исключением повышения содержания SO_4^{2-} по средним показателям с 167.9 до 314.5 мг/л, что приводит к смене типа грунтовой воды на сульфатно-карбонатный. В скважине № 7 также отмечается увеличение концентрации SO_4^{2-} до 2635.5 мг/л, за счет этого общая минерализация увеличивается 1.7 раз.

В последнее десятилетие исследований и по настоящее время увеличение минерализации воды в скважинах непосредственно связано с повышением сульфатов. Максимальные отметки доминирующего иона SO_4^{2-} и степени минерализации составляют в скважине № 6 – 1733.9 и 3379.0 мг/л, в скважине № 7 – 5043.8 и 7827.7 мг/л. Также в этот период зарегистрированы максимумы карбонатов, натрия и кальция в скважине № 6, которые также являются типобразующими ионами минерализации грунтовых вод данной территории (сульфатно-карбонатно-натриево-кальциевый тип). В скважине № 7 помимо сульфатов преобладают Ca^{2+} и Na^+ , что определяет тип воды как сульфатно-кальциево-натриевый.

Отдельно стоит обратить внимание на последний год проводимых исследований, по результатам которого отмечено значительное повышение минерализации за счет повышения сульфатов в обеих скважинах. На водоотборе № 6 минерализация составила 8445.9 мг/л (85.7% от средней за 2011-2022 гг.), на водосборе № 7 – 12162.9 мг/л (43.4%), при содержании SO_4^{2-} 5683.2 мг/л (106.5%) и 8291.9 мг/л (48.7%).

При сравнении уровня минерализации воды исследуемых скважин видно, что значения скважины № 7 значительно превышают показатели № 6, в основном за счет различного расположения точек отбора природной воды по рельефу местности. Скважина № 6 с середины поля располагается выше, следовательно происходит поверхностный и внутрипочвенный сток воды (склон крутизной 3°) в нижнюю часть поля с дальнейшей концентрацией химических элементов, содержащихся в грунтовой воде. В среднем за период исследования разница между значениями минерализации составляет 100%.

Степень минерализации скважины № 6 за исследуемый период изменялась с категории пресной (в первое десятилетие исследований) до соленой (настящий момент исследований). На водоотборе № 7 градиация начинается с солоноватых вод (с концентрацией солей 1000-3000 мг/л) и достигает значения сильносоленых вод (более 10000 мг/л).

Направление к повышению степени засоленности грунтовых вод связано главным образом с установившимся выпотным режимом данной территории, при котором отмечается резкий скачок в сторону положительных температур воздуха в весенний период, что приводит к усилению внутрипочвенного стока (Завьялова и др., 2024).

Многие авторы отмечают, что высокоминерализованные грунтовые воды оказывают заметное влияние на почвенное засоление, но стоит отметить что засоление такого типа не изменяет свойства и тип почвы, а оказывают так называемый наложенный процесс (Пасмарнова, 2013; Симонова и др., 2020; Горохова и др., 2020).

Почвы, приуроченные к скважине № 6 характеризуются слабощелочной или нейтральной реакцией среды. В верхних горизонтах преобладает хлоридно-кальциевый химизм соленакопления, в нижних – карбонатный. Как было представлено выше данное распределение солей характерно и для грунтовой воды, отобранной рядом. На участке скважины № 6 отмечена тенденция нисходящего вертикального распределения солей, что объясняется интенсивным поступлением минерализованных вод в глубокие слои почвы, до границы поднятия грунтовых вод. Следовательно химизм почвенного соленакопления и распределения напрямую зависит от состава природной воды. Вниз по профилю заметно возрастает содержание HCO_3^- с 0.173 до 0.982 мг/экв. Также отмечено высокое содержание ионов Cl^- и Ca^{2+} (табл. 3).

Анализ почвы, расположенной возле скважины № 7 показал, что реакция среды (pH) по всему профилю нейтральная. Содержание солей в профиле аналогично показателям грунтовой воды из скважины № 7. Отмечено увеличение доли Cl^- , SO_4^{2-} и Ca^{2+} в катионно-анионном составе почвы.

Отдельно стоит рассмотреть химическую характеристику почвы в условиях гидроморфизма, расположенного еще ниже по почвенному склону относительно скважины № 7. На протяжении нескольких лет на данном участке отмечается зона разгрузки потока грунтовых вод, вследствие чего почва выведена из сельскохозяйственного оборота. В периоды засухливости климата поверхность

покрывается солевыми корками. По результатам анализа выявлено высокое содержание сульфатов и кальция по всему профилю.

Для оценки влияния солесодержания почвы исследуемых участков на выращиваемые сельскохозяйственные культуры была рассчитана степень токсичности, основанная на суммарном эффекте токсичности ионов солей, который выражается в эквивалентах Cl^- , т.к. степень токсичности у ионов разная (Базилевич, Панкова, 1972).

Таблица 3. Химическая характеристика почвы.

Слой почвы, см	Плотный остаток, %	CO_3^{2-}	В мг/эквивалентах					pH	
			Общая щелочность HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}		Na^+
Характеристика почвы, приуроченной к скважинам									
0-30	0.055*	0	0.173	0.230	0.077	0.283	0.177	0.063	7.47
	0.044**	0	0.133	0.237	0.253	0.290	0.110	0.039	6.75
30-50	0.049	0	0.225	0.230	0.124	0.225	0.170	0.085	7.21
	0.043	0	0.165	0.250	0.220	0.300	0.100	0.043	6.81
50-100	0.046	0	0.588	0.222	0.154	0.332	0.126	0.074	8.23
	0.035	0	0.130	0.246	0.134	0.234	0.122	0.037	6.88
100-150	0.07	0	0.940	0.230	0.130	0.290	0.05	0.07	9.26
	0.048	0	0.116	0.384	0.160	0.326	0.106	0.034	7.37
150-200	0.104	0.001	0.982	0.280	0.152	0.320	0.068	0.060	9.37
	0.073	0	0.105	1.268	0.550	0.655	0.388	0.044	7.48
Характеристика почвы в условиях гидроморфизма									
0-30	1.0	0	0.26	0.75	3.48	6.0	1.83	0.038	7.32
30-40	0.85	0	0.33	1.08	3.48	5.07	1.68	0.053	7.60
40-60	0.65	0	0.27	1.36	3.14	4.30	1.55	0.042	7.57
60-80	0.59	0	0.23	0.77	3.26	3.85	1.48	0.040	7.60
80-120	0.48	0	0.38	1.28	3.86	3.88	1.18	0.034	8.05

Примечания к таблице 3: * – характеристика почвы, приуроченной к скважине № 6; ** – характеристика почвы, приуроченной к скважине № 7.

Согласно расчетам, установлено, что в почвенных горизонтах 0-50 см, вмещающих анализируемые грунтовые воды исследуемых скважин, с учетом суммарного токсического эффекта, засоление не превышает 0.27 мг/экв. Дальнейшее снижение вниз по почвенному профилю в зоне исследования скважины № 6 характеризует горизонты как слабозасоленные – 0.35-0.60 мг/экв. Слабое засоление в районе скважины № 7 отмечается в слое почвы 100-150 см, с последующим увеличением в более глубоких горизонтах (150-200 см) до 1.27 мг/экв., что по классификации Н.И. Базилевич и Е.И. Панковой (1972) относится к средней степени засоления. В условиях гидроморфизма повышенное содержание токсичных солей отмечено по всему почвенному профилю, от 0.75 мг/экв. в верхнем горизонте, до 1.40 мг/экв. в нижнем.

Токсический эффект приходится главным образом на ион хлора, так как карбонаты и сульфаты полностью связываются с ионами кальция в нетоксичные соли $Ca(HCO_3)_2$ и $CaSO_4$.

Данное содержание и распределение токсичных ионов по почвенным горизонтам исследуемых скважин доказывает влияние действия грунтовых вод на засоление вмещающих их почв. Чем выше концентрация солей в грунтовой воде, тем выше степень засоления почвенных горизонтов, при условии, что грунтовые воды располагаются на глубине не более 5 м. Преобладающие ионы в минерализации природных вод, доминируют и в числе ионов солей почвы (Sethi et al., 2016; Симонова и др., 2020; Хитров и др., 2020; Яковлева и др., 2021).

Несмотря на соленые и сильносоленые грунтовые воды, степень соленакопления почвы находится на слабом и среднем уровне, что говорит о наложенном засолении, при котором

не изменяются морфологические свойства и тип почвы. Тем не менее, за данным процессом необходим постоянный, сезонный мониторинг.

Выводы

Химические элементы атмосферных осадков, проходя через почвенные слои, в значительной степени влияют на состав и концентрацию грунтовых вод. За время исследований общая минерализация атмосферных осадков составила в среднем 56.4 мг/л. В химическом составе атмосферных осадков лидируют сульфаты. В среднем за период исследования содержание сульфат-иона в осадках составило 29.18 мг/л, а доля в общей сумме минерализации – 50%.

Чем ниже водосбор расположен по рельефу, тем выше поднимается зеркало грунтовых вод. Среднеголетние показатели УГВ составляют 120.2 см (скважина № 7) и 532.5 см (№ 6). Несмотря на разную глубину залегания грунтовых вод, отмечается общая многолетняя тенденция к повышению УГВ, что говорит о преобладании питания грунтовых вод над их разгрузкой.

На данный момент времени анализ показателей химического состава первого от поверхности водоносного горизонта говорит о преобладании сульфатно-кальциево-натриевого типа. В настоящее время увеличение минерализации воды в скважинах непосредственно связано с повышением сульфатов. Максимальные отметки доминирующего иона SO_4^{2-} и степени минерализации составляют в скважине № 6 – 1733.9 и 3379.0 мг/л, в скважине № 7 – 5043.8 и 7827.7 мг/л соответственно. Вода обеих скважин характеризуется как соленая – 3000-10000 мг/л.

Засоление почвы слабой степени с учетом токсичности ионов в почвах скважины № 6 начинается с горизонта 50 см и наблюдается дальше вниз по профилю, не прешывая 0.60 мг/экв. Засоление почв в зоне скважины № 7 начинается на глубине 100 см (0.40 мг/экв.), достигая показателей средней степени засоленности вниз по профилю (1.27 мг/экв.). На локальных участках с избыточным увлажнением засоление почвы отмечается по всему профилю – 0.75-1.40 мг/экв.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках темы госадаания № FNWF-2022-0007 «Формирование принципов управления экосистемами и сельскохозяйственным производством на основе цифровизации и прогнозирования почвенно-климатических изменений».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аринушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ. 487 с.
- Базилевич Н.И., Панкова Е.И. 1972. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюллетень Почвенного института. Вып. 5. С. 36-42.
- Бузуева А.С., Губарев Д. И., Несветаев М. Ю., Куликова В. А. 2023. Влияние почвенно-климатических факторов на параметры грунтовых вод склонового агроландшафта // Аридные экосистемы. Т. 29. № 2 (95). С. 20-28. [Buzueva A.S., Gubarev D.I., Nesvetaev M.Y., Kulikova V.A. 2023. The Influence of Soil-Climate Factors on the Groundwater Parameters of the Slope Agrolandscape // Arid Ecosystems. Vol. 29. No. 2. P. 20-28.]
- Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Кравченко Е.И. 2020. Изменение засоленности орошаемых почв участка Червленое за четверть века (Волгоградская область) // Почвоведение. № 4. С. 463-472.
- Завьялова Е.В., Демакина И.И. 2024. Климатическая характеристика зимних сезонов в условиях изменения климата (на примере Саратовской области) // Аграрный научный журнал. № 7. С. 18-22.
- Каюкова Е.П., Котова И.К. 2017. Особенности формирования химического состава подземных вод зоны активного водообмена бассейна р. Бодрак (Юго-Западный Крым) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. Т. 62. № 4. С. 343-356.
- Молчанова Т.Я. 2019. Определение солевого состава водной вытяжки и оценки мелиоративного состояния почвенного покрова староорошаемых земель Кулунды // Вестник АГАУ. № 2 (172). С. 56-59.
- Новикова Н.М., Волкова Н.А., Уланова С.С., Шаповалова И.Б., Вышивкин А.А. 2011. Ответные реакции экосистем на изменение водного режима территории в степной зоне // Аридные экосистемы. Т. 17. № 3 (48). С. 38-48. [Novikova N.M., Volkova N.A., Shapovalova I.B., Vyshivkin A.A., Ulanova S.S. 2011. Ecosystem responses to hydrological regime changes in the steppe zone // Arid Ecosystems. Vol. 17. No. 3 (48). С. 38-48].
- Пасмарнова С.П. 2013. Особенности химического состава грунтовых вод на территории Тамбовского и Сосновского районов Тамбовской области // Вестник ВГУ. Серия «Геология». № 2. С. 177-180.
- Симонова Ю.В., Русаков А.В., Коркина Е.А. 2020. Процессы засоления почв импактной зоны выходов минерализованных вод в Ярославском Поволжье // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. № 65 (4). С. 662-680.
- Усов Н.И. 1948. Почвы Саратовской области. Правобережье – Саратов. Огиз. 288 с.

- Хитров Н.Б., Роговнева Л.В., Паицецкий В.С.* 2020. Изменение засоленности почв и грунтовых вод рисовых систем Присивашской низменности после прекращения орошения // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. № 102. С. 70-102.
- Яковлева Л.В., Гулин А.В., Сорокин А.П., Маслова Е.А.* 2021. Солевое состояние почв агроценозов Камызякского района Астраханской области // Естественные науки. № 2 (3). С. 33-43.
- Sethi M., Bundela D.S., Rajkumar.* 2016. Diagnosis and Prognosis of Salt-Affected Soils and Poor-Quality Waters Using Remote Sensing and Proximal Techniques // Innovative Saline Agriculture. P. 55-82.
- Takhteev V.V., Eropova I.O., Lopatovskaya O.G., Khadeeva E.R.* 2020. Water Chemistry in Small Tributaries and the Coastal Zone of Lake Baikal in the Period of Environmental Crisis // Water Resources. Vol. 47. No 3. P. 448-458.