

ГЕНЕЗИС
И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.445.53

ЗАСОЛЕНИЕ И ОСОЛОНЦЕВАНИЕ ПОЧВ РЕЧНЫХ ДОЛИН
КУЛУНДИНСКОЙ РАВНИНЫ

© 2023 г. Н. В. Елизаров^а, *, В. В. Попов^а, И. Д. Рыбкина^б, Б. А. Смоленцев^а

^аИнститут почвоведения и агрохимии СО РАН, пр-т. Академика Лаврентьева, 8/2, Новосибирск, 630090 Россия

^бИнститут водных и экологических проблем СО РАН, ул. Молодежная, 1, Барнаул, 656038 Россия

*e-mail: elizarov@issa-siberia.ru

Поступила в редакцию 07.02.2023 г.

После доработки 29.05.2023 г.

Принята к публикации 30.05.2023 г.

Поверхность Кулундинской равнины расчленена системой древних широких долин, бывших ложбин стока, имеющих очень малый уклон (менее 1°). По этим слабовыраженным долинам текут реки, перераспределяя легкорастворимые соли по территории. Режим этих рек отличается высокой волной половодья и низким (до полного пересыхания) стоком в летнее время года. Цель работы – исследовать ионно-солевою систему почв древних ложбин стока Кулундинской равнины, грунтовых и речных вод для выявления современных процессов засоления почв. Во время половодья речные воды питают близкозалегающие грунтовые воды, оказывая влияние на их химический состав. Исследования трех ключевых участков в долинах р. Баган (Новосибирская область), Бурла и Кулунда (Алтайский край) проходили в 2021–2022 гг. Грунтовые воды различной степени минерализации (от 3.4 до 63.0 г/л) залегают близко от поверхности (2–5 м), что обуславливает широкое распространение засоленных гидроморфных почв на исследуемой территории. Рассмотрены различия в солевом состоянии почв разных долин, грунтовых и речных вод. Степень засоления почв зависела от их гранулометрического состава. Высокое содержание физической глины способствовало подъему солей с грунтовыми водами и аккумуляции их в профиле почв. Большое количество обменного натрия в почвенном поглощающем комплексе исследованных почв (более 3–5 смоль(экв)/кг), преобладание легкорастворимых натриевых солей в почвенном растворе при невысокой его минерализации, а так же щелочная реакция почвенной среды указывают на проявление процесса осолонцевания почв.

Ключевые слова: грунтовые воды, уровень грунтовых вод, каштановые почвы (Kastanozems), солонец (Solonetz), луговые почвы (Gleysols)

DOI: 10.31857/S0032180X23600191, EDN: ZSLOIK

ВВЕДЕНИЕ

Внутренний бессточный бассейн Кулундинской равнины характеризуется затрудненным и замедленным поверхностным стоком. Система древних долин, бывших ложбин стока, расчленяет равнинную поверхность на параллельно вытянутые узкие платообразные увалы, с уклоном (0.2–0.7%) в сторону Иртыша. С востока на запад глубина вреза древних долин падает, и на западе они сливаются с пониженной зоной степи (100–110 м над ур. м.) [2, 17].

По характеру водного режима эти реки относятся к водотокам с весенним половодьем и паводками, в остальное время уровень воды низкий, вплоть до полного пересыхания.

На большей части Обь-Иртышского междуречья почвенно-грунтовые воды залегают неглубоко, часто минерализованы и принимают актив-

ное участие в процессе почвообразования [13]. Различия в уровне залегания и степени минерализации грунтовых вод – главная причина пятнистости почвенного покрова Кулунды. Глубина залегания от 2 м вблизи реки до 5 м и более под водоразделом, минерализация и солевой состав грунтовых вод варьируют в широких пределах. Водоносные горизонты верхнего гидрогеологического комплекса многоярусны и при этом связаны в местах выклинивания локальных водоупоров, часто образуют один пьезометрический уровень. Равнинный рельеф и горизонтальное залегание отложений создают малые уклоны поверхности грунтовых вод [17].

Почвенный покров Кулундинской равнины представлен черноземами (Chernozems), лугово-черноземными (Gleyic Chernozems) и каштановыми почвами (Kastanozems), развивающимися на водораздельных пространствах. На склонах и в

разрезы заложены на основных типах элементарных ландшафтов [10, 25]. Для исследования процессов, происходящих в зоне аэрации, образцы почв отбирали до глубины залегания грунтовых вод, проведены измерения уровня грунтовых вод и отобраны пробы воды для лабораторных исследований.

Аналитические работы проводили в ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН. Использовали методики: определение рН почвы проводили потенциометрическим методом (ГОСТ 26423-85), для оценки засоления определяли сухой остаток в водной вытяжке (ГОСТ 26423-85), хлорид-ионов и сульфат-ионов – по ГОСТ-26425-85, ионов натрия и калия – по ГОСТ 26427-85, ионов кальция и магния – комплексонометрическим методом по ГОСТ 26428-85 [21]. Гранулометрический состав почв исследовали методом пипетки по Качинскому [8]. Состав обменных катионов определяли методом Пфедфера в модификации Молодцова и Игнатовой [9]. Полученные экспериментальные данные математически обрабатывали с использованием пакета анализа данных Excel.

В работе использовали классификацию и диагностику почв СССР, так как картографические и другие фондовые материалы составлены на ее основе [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На режим грунтовых вод влияют климатические условия (температура, атмосферные осадки, испарение), гидрогеологические (увеличение и уменьшение водности реки и озер), биологические (транспирация и десукция растений) и антропогенные (мелиоративные мероприятия, использование подземных вод для нужд населения и т.д.) [14]. В долинах рек грунтовые воды подпитываются речными водами в период половодья. В это время речные воды находятся выше в гидростатическом значении, поэтому их гидростатическое давление передается на грунтовые воды [15]. Действие реки на режим грунтовых вод зависит от значения гидравлического уклона, расхода воды реки, амплитуды изменения ее уровня и уменьшается по мере удаления от русла реки (табл. 1). После половодья существенно меняется минерализация речной воды. В реках Бурла и Кулунда минерализация увеличилась в 2 раза, в р. Баган более чем в 13 раз (с 1.6 до 21.0 г/л, табл. 2), что связано с застойным режимом реки в период после половодья.

Ранее авторами [29] отмечались изменения минерализации р. Кулунда (во время и после половодья) с 0.24 до 3.6 г/л, т.е. более чем в 15 раз (в устье реки – п. Шимолино). Такая высокая минерализации воды наблюдается не по всей длине рек, а только в нижнем течении, ближе к их

устьям. Западная часть бессточной области междуречья Оби и Иртыша – территория современного соленакопления. Зачастую водоприемником степных рек служат озера, минерализация которых еще выше (минерализация оз. Большой Баган 22.06.2021 составила 350.3 г/л), так как в них происходит дальнейшее испарительное концентрирование солей.

Изменения минерализации рек в течение года и количество выносимых солей определяются участием в их питании различных источников. Если в период половодья реки под действием гидростатического давления питают грунтовые воды, то в зимнее время наоборот – грунтовые воды являются практически единственным источником поступления воды в русла рек. Они приносят с собой большое количество солей и повышают минерализацию [23, 27].

Первые весенние снеговые талые воды также являются переносчиком солей, так как попутно смывают соли с поверхности почвы и вымывают их из верхнего горизонта почв. Кроме того, вытесненные выше по течению подледные воды также обладают повышенной минерализацией, поэтому в первую фазу половодья возможно увеличение минерализации речной воды [19].

Во всех исследованных реках во время половодья воды имели хлоридно-гидрокарбонатный состав, а в конце лета сульфатно-хлоридный или сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридный. В катионном составе увеличивалась доля магния и натрия.

Первый ключевой участок располагался на северном склоне гривы к р. Баган (п. Ивановка Новосибирской области). Разрез 1 заложен в элювиальной части исследованного ландшафта на пахотном черноземе южном осолоделом маломощном малогумусном легкосуглинистом (54.023276° N, 77.233769° E). В транссупераквальном ландшафте заложены разрезы 2 (54.025837° N, 77.234112° E) и 3 (54.026018° N, 77.234051° E). Почва разреза 2 – луговая сильносолонцеватая маломощная малогумусная легкосуглинистая. Почва разреза 3 – солонец черноземно-луговой солончаковый высокогипсовый мелкий среднесуглинистый (рис. 2).

Химический состав грунтовых вод неоднороден, отличается пестротой не только в разных долинах, но и под разными почвами в нескольких десятках метров друг от друга. Ярким примером служит долина р. Баган – на расстоянии 20 м друг от друга сформировались солонец мелкий и луговая солонцеватая почвы при залегании грунтовых вод приблизительно на одном уровне (197 и 199 см соответственно). Минерализация грунтовых вод под луговой почвой была больше почти в 1.5 раза (4.8 и 3.4 г/л соответственно). Кроме того, отличался качественный состав солей: в грунтовой воде под луговой почвой концентрация сульфатов

Таблица 1. Гидрохимическая характеристика грунтовых, речных и озерных вод ключевых участков

Точка отбора	Уровень грунтовых вод, см	Расстояние разреза от реки, м	Минерализация, г/л	pH	ммоль(экв)/л							
					CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Долина р. Баган (п. Ивановка)												
р. Баган		0	21.0	8.4	0.9	6.0	265.6	98.6	12.0	103.3	213.0	2.5
ГВ* Р2 Луговая сильносолонцеватая	199	41	4.8	8.8	2.1	16.3	12.7	45.9	3.2	8.3	40.0	0.3
ГВ Р3 Солонец черноземно-луговой	197	65	3.4	8.6	2.2	15.9	19.3	17.1	3.2	10.0	27.4	0.3
оз. Большой Баган		—	350.3	7.8	0.0	42.0	4720.0	1358.9	15.8	1541.7	4130.4	29.5
Долина р. Бурла (п. Бурла)												
р. Бурла		0	3.1	8.6	1.4	10.9	19.8	19.85	3.90	10.33	20.1	0.6
ГВ Р5 Луговая солончаковая	238	33	51.7	7.9	2.5	15.2	371.0	470.64	25.0	266.7	482.6	2.7
ГВ Р4 Солонец черноземно-луговой	190	70	63.0	7.8	3.0	15.7	744.0	427.85	25.0	275.0	482.6	3.8
оз. Большое Топольное (2013 г. [16])		—	20.0	9.7	13.2	26.4	177.1	111.0	0.0	80.8	242.6	3.1
Долина р. Кулунда (п. Нижняя Чуманка)												
р. Кулунда		0	2.0	8.6	1.44	9.9	11.04	9.58	2.00	6.7	15.8	0.3
ГВ Р9 Луговая солончаковая	335	42	8.4	8.4	1.41	6.9	76.80	61.34	11.2	42.7	66.4	0.2
ГВ Р8 Солонец черноземно-луговой	200	456	10.5	8.3	3.84	23.9	36.00	89.95	3.5	29.2	126.1	0.4
оз. Кулундинское (2008 г. [20])		—	153.0	8.7	25.3	43.1	1331.4	424.0	3.0	377.0	1261.0	4.2

* Грунтовые воды.

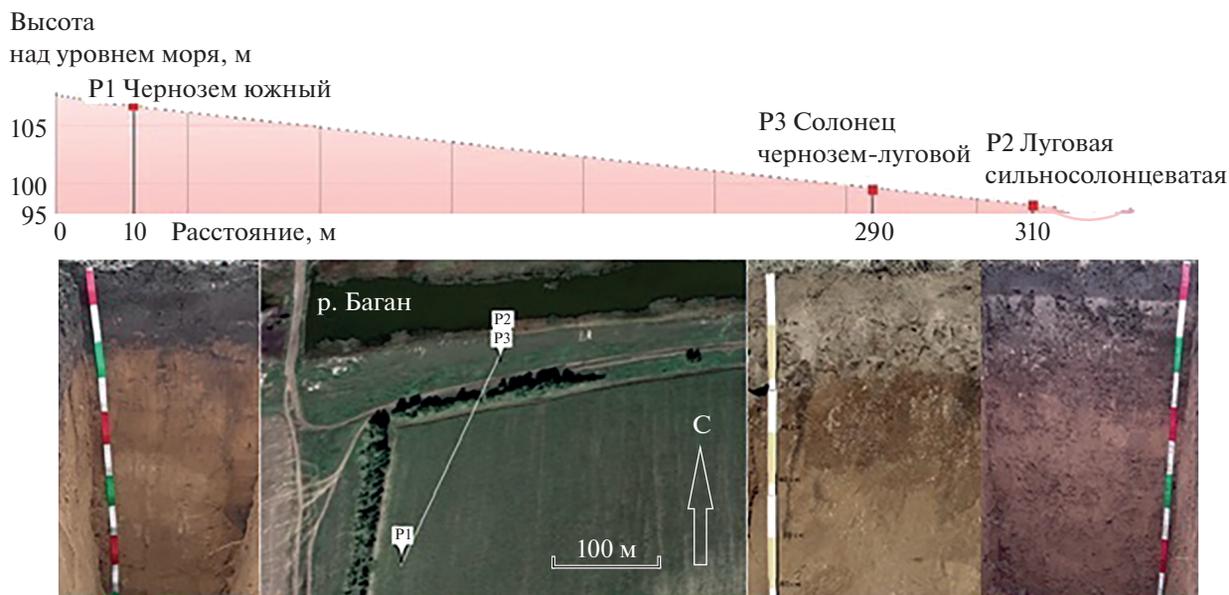


Рис. 2. Катена почв долины р. Баган.

почти в 3 раза больше, чем под солонцом (45.9 и 17.1 ммоль(экв)/л соответственно).

Пестрота состава грунтовых вод объясняется слабой подвижностью грунтовых вод, вследствие равнинного рельефа территории. В таких условиях на химический состав грунтовых вод оказывает влияние микрорельеф поверхности, в частности небольшие западины и так называемые “блюдца”, через которые осуществляется питание грунтовых вод атмосферными осадками, участвуя в реакциях катионного обмена с ионно-солевым комплексом почв и вымывая соли из почвы. Распределение солей по профилю почв в долине р. Баган представлено на рис. 3.

Чернозем южный сформировался в отрыве от зеркала грунтовых вод, поэтому его профиль не засолен (сумма токсичных солей в метровом профиле 0.04%). Максимум солей в профиле солонца обнаружен на глубине 20–30 см (1.5%). Луговая сильносолонцеватая, расположенная в супераквальной позиции, имеет такое же натриевое хлоридно-сульфатное засоление, но максимум его приходится на 45–55 см (1.4%). Данное обстоятельство объясняется более тяжелым грануломет-

рическим составом солонца, поэтому капиллярная кайма грунтовых вод поднимается по его профилю выше, чем в профиле луговой почвы (табл. 3). В этом случае происходит вертикальный водообмен, т.е. расход (разгрузка) грунтовых вод идет в основном путем транспирации и испарения.

По составу обменных катионов во всех почвах первого ключевого участка наблюдается преобладание двухвалентных катионов. Доля кальция в ППК варьирует от 65 до 81% в верхних горизонтах и с глубиной значительно уменьшается, из-за сокращения количества органического вещества в почве и увеличения концентрации легкорастворимых солей. При этом заметно возрастает количество обменного магния до 5–8 ммоль(экв)/кг в карбонатном горизонте (45–70 см) (табл. 4). Количество обменного натрия сильно варьирует от типа почв. В черноземе южном доля натрия в ППК не превышает 1% от суммы обменных катионов (менее 0.2 ммоль(экв)/кг). А в почвах аккумулятивных позиций количество обменного натрия значительно больше и с глубиной достигает 5 ммоль(экв)/кг, что связано с увеличением натриевых солей в почвенных растворах [34].

Таблица 2. Динамика минерализации и рН речной воды

Река	26 мая–2 июня		22–26 августа	
	минерализация, г/л	рН	минерализация, г/л	рН
Баган	1.6	7.1	21.0	8.4
Бурла	1.7	8.4	3.1	8.6
Кулунда	1.2	7.1	2.0	8.6

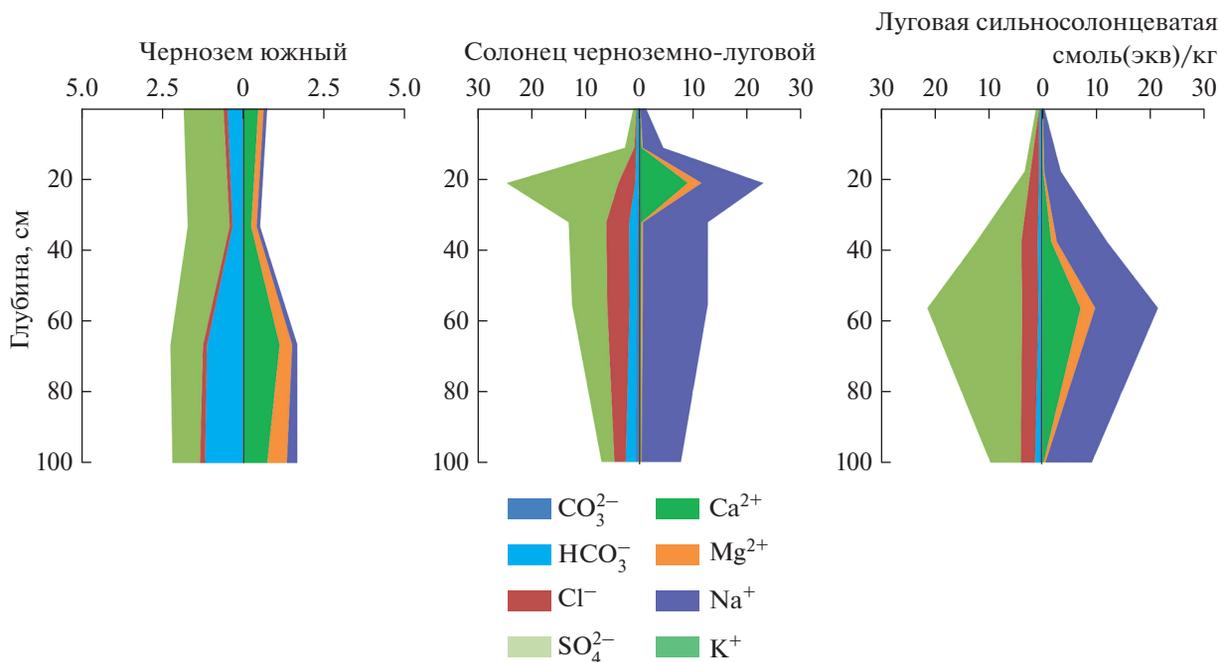


Рис. 3. Распределение солей по профилю почв в долине р. Баган.

Второй участок расположен на низменной равнине в излучине реки Бурла (рядом с п. Бурла Алтайского края). Заложено три разреза, вскрывающие следующие почвы: темно-каштановую

осолоделую среднесиловую легкосуглинистую (Р6 53.336735° N, 78.283582° E), солонец черноземно-луговой солончаковый высокогипсовый мелкий легкоглинистый (Р4 53.336501° N, 78.292122° E)

Таблица 3. Гранулометрический состав почв долины р. Баган

Глубина, см	Количество частиц, %; диаметром, мм						
	1–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	<0.001	<0.01
Чернозем южный							
0–20	6.5	61.4	8.8	3.0	5.6	14.6	23.3
30–40	5.3	62.3	8.0	2.6	5.1	16.7	24.4
62–72	6.2	49.3	12.4	4.2	8.0	19.9	32.1
90–100	6.6	53.4	11.9	2.6	6.9	18.5	28.1
Луговая сильносолонцеватая почва							
0–10	5.3	55.4	17.1	6.8	9.3	7.1	23.2
14–24	4.2	56.4	13.4	5.9	8.1	12.0	26.0
30–40	4.9	46.5	14.9	4.7	5.8	23.2	33.7
45–55	3.5	43.9	15.6	4.2	9.5	23.3	37.0
80–90	1.0	33.5	22.0	8.1	10.2	25.2	43.5
Солонец черноземно-луговой							
0–10	3.6	47.6	20.4	8.6	10.9	28.4	28.4
10–20	3.8	46.3	15.3	4.3	8.6	34.6	34.6
20–27	3.3	37.7	13.5	5.4	9.0	45.5	45.5
29–39	3.5	44.2	11.8	4.8	8.0	40.5	40.5
55–65	2.7	33.4	16.2	6.6	9.8	47.7	47.7
90–100	2.7	32.2	15.7	6.7	10.1	32.7	49.5

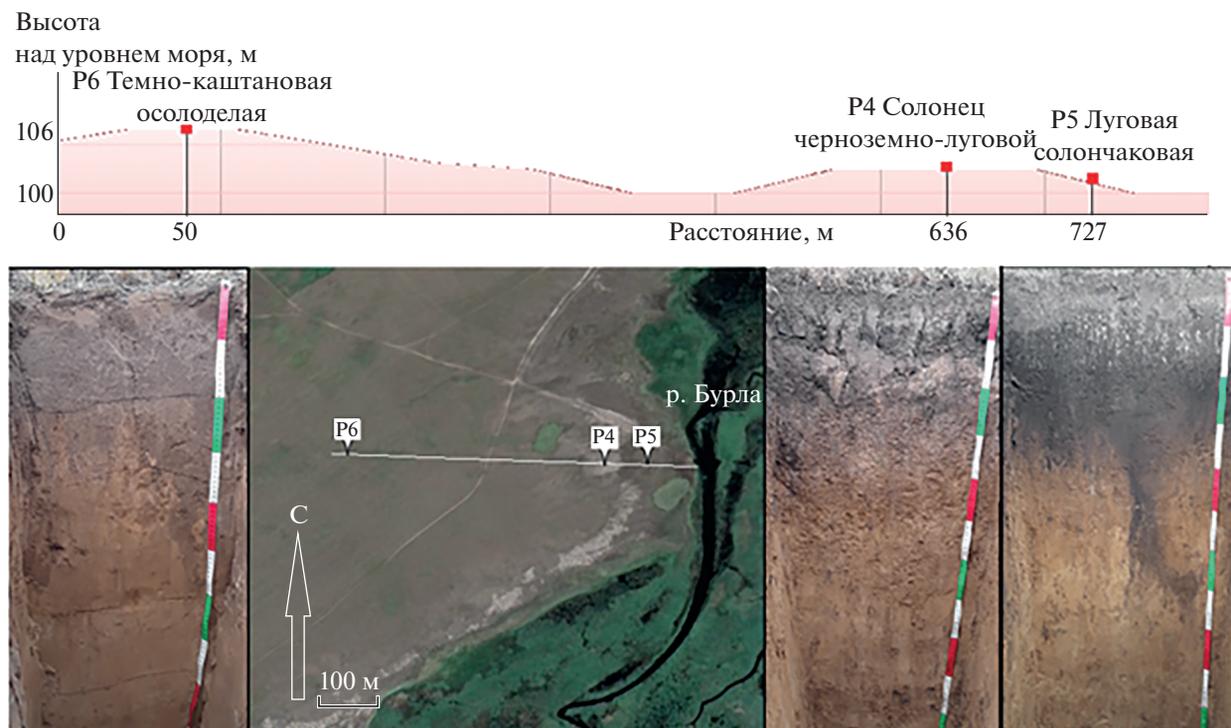


Рис. 4. Катена почв долины р. Бурла.

Таблица 4. Состав обменных катионов почв участка в долине р. Баган

Глубина, см	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Сумма	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
	смоль(экв)/кг					% от суммы			
Чернозем южный (P1)									
0–20	11.40	2.30	0.09	0.27	14.06	81	16	1	2
30–40	12.00	2.95	0.09	0.18	15.22	79	19	1	1
62–72	12.00	2.95	0.19	0.20	15.34	78	19	1	1
90–100	8.40	4.26	0.09	0.21	12.96	65	33	1	2
Солонец черноземно-луговой (P3)									
0–10	9.60	3.61	1.07	0.60	14.88	65	24	7	4
10–20	9.60	7.87	3.94	0.37	21.78	44	36	18	2
20–27	9.60	8.53	5.32	0.41	23.86	40	36	22	2
29–39	5.80	7.87	5.17	0.38	19.22	30	41	27	2
45–65	4.00	8.53	5.00	0.32	17.85	22	48	28	2
90–100	2.20	8.53	4.39	0.32	15.44	14	55	28	2
Луговая сильносолонцеватая почва (P2)									
0–10	10.80	2.95	0.49	0.75	14.99	72	20	3	5
14–24	9.60	4.26	1.55	0.35	15.76	61	27	10	2
30–40	7.20	7.22	3.30	0.38	18.10	40	40	18	2
45–55	7.80	7.87	3.78	0.34	19.79	39	40	19	2
80–90	5.80	8.53	4.39	0.37	19.09	30	45	23	2

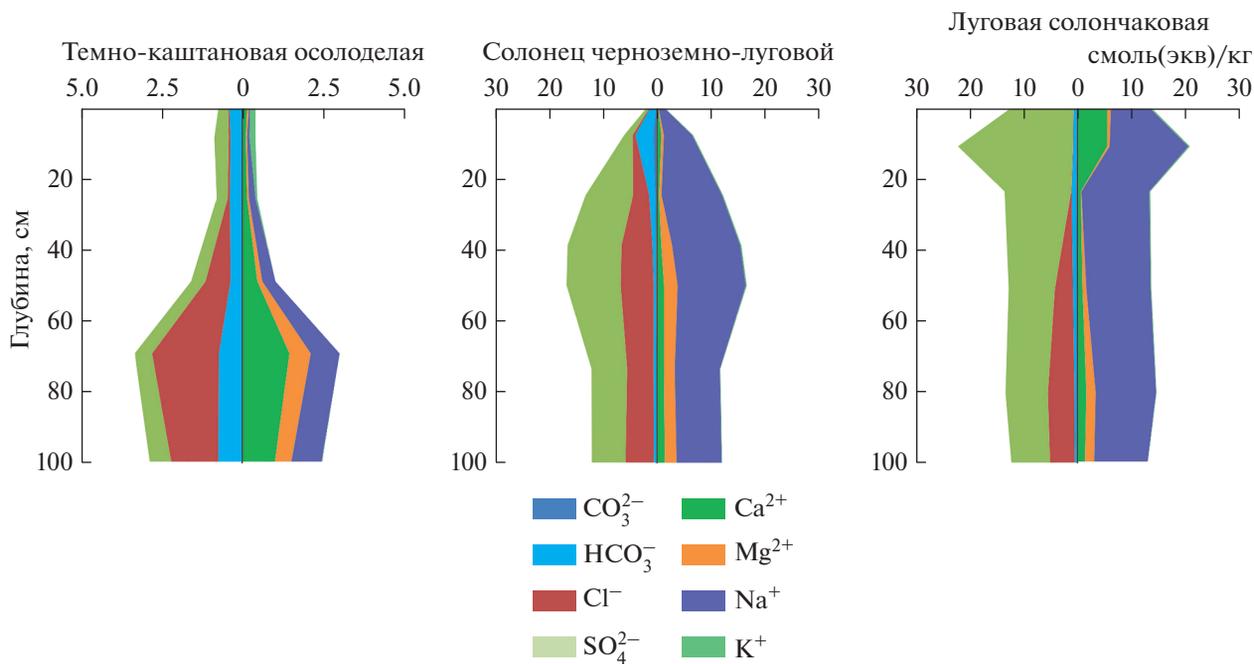


Рис. 5. Распределение солей по профилю почв в долине р. Бурла.

и луговую солончаковую маломощную малогумусную легкосуглинистую (P5 53.336534° N, 78.293516° E) (рис. 4).

В аридном и семиаридном климате геоморфологическое строение местности оказывает сильное влияние на глубину залегания и минерализацию грунтовых вод. Так, в замкнутых котловинах и в различных низинах, куда направлен сток солей с возвышенностей, происходит дальнейшая минерализация вод, вплоть до образования рассолов. В долине р. Бурла минерализация грунтовых вод под луговой засоленной почвой и солонцом мелким достигла значений 51.7 и 63.0 г/л соответственно. Исследованный участок находится на высоте 103–104 м над уровнем моря и является зоной современной аккумуляции солей, переносимых р. Бурла, имеющей водосборный бассейн площадью 12800 км² [17]. Грунтовые воды под разными почвами имели различный качественный состав: под луговой почвой они хлоридно-сульфатные, а под солонцом – сульфатно-хлоридные. В обоих случаях в анионном составе зафиксировано низкое содержание гидрокарбонатов (примерно такое же, как в речной воде – 15.2–15.9 ммоль(экв)/л).

Таким образом, высокая минерализация исследованных грунтовых вод обусловлена большой концентрацией сульфатов и хлоридов, которые аккумулировались не только в грунтовых водах, но и в профиле почв (рис. 5). Накопление хлоридов по профилю неоднородное, в луговой почве они по-

являются с глубины 40 см, что может объясняться промыванием их атмосферными осадками.

Из полученных данных видно, что при неглубоком залегании высокоминерализованные грунтовые воды являются источником засоления профиля почв. В условиях гидроморфного почвообразования (в естественной обстановке или при орошении) капиллярные растворы, восходящие от зеркала грунтовых вод, приводят к засолению профиля почвы [35]. Чем выше минерализация грунтовых вод, тем быстрее и с большей глубины грунтовые воды могут вызывать засоление почв [22].

Тип засоления грунтовых вод и профиля исследованных почв натриевый, хлоридно-сульфатный, максимум солей в солонце зафиксирован на глубине 40–60 см, в луговой – 10–20 см.

В почвах бассейна р. Бурла количество обменного кальция в незасоленных почвах преобладает и по профилю существенно не изменяется (в среднем 9 смоль(экв)/кг)), тогда как в засоленных почвах его количество максимально лишь в самом верхнем горизонте (14–16 смоль(экв)/кг) и с глубиной резко уменьшается (табл. 5). Это связано с появлением соды в почвенных растворах нижележащих горизонтов. В щелочных условиях кальций почвенного раствора выпадает в осадок и становится недоступным для поглощения почвой [4]. Это подтверждается тем, что на указанной глубине наблюдается резкое увеличение CaCO₃ с 2 до 12%. При этом в содосодержащих горизонтах доля обменного натрия увеличивается в среднем до 30% от суммы обменных катионов, что указы-

Таблица 5. Состав обменных катионов почв участка в долине р. Бурла

Глубина, см	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Сумма	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
	смоль(экв)/кг					% от суммы			
Темно-каштановая осолодевшая почва (P6)									
0–4	10.20	2.95	0.09	1.19	14.43	71	20	1	8
0–20	8.40	2.30	0.09	1.30	12.09	69	19	1	11
22–32	10.80	2.30	0.19	0.92	14.21	76	16	1	6
45–55	10.80	2.30	0.09	0.21	13.40	81	17	1	2
65–75	9.00	2.95	0.30	0.16	12.41	73	24	2	1
95–105	9.00	2.95	0.30	0.16	12.41	73	24	2	1
Солонец черноземно-луговой (P4)									
0–4	14.60	6.56	2.03	1.08	24.27	60	27	8	4
4–16	7.20	6.56	4.25	1.19	19.20	38	34	22	6
23–33	3.40	6.56	3.48	1.05	14.49	23	45	24	7
38–48	3.40	9.18	3.63	1.10	17.31	20	53	21	6
50–60	4.00	8.53	3.48	0.86	16.87	24	51	21	5
75–85	3.40	5.90	1.93	0.37	11.60	29	51	17	3
103–113	3.40	6.23	2.02	0.38	12.03	28	52	17	3
Луговая солончаковая почва (P5)									
0–7	16.40	3.61	3.30	1.23	24.54	67	15	13	5
7–21	7.20	2.30	5.63	1.08	16.21	44	14	35	7
22–32	4.60	3.61	5.32	1.08	14.61	31	25	36	7
50–60	4.60	5.90	3.48	0.86	14.84	31	40	23	6
80–90	4.00	4.92	2.41	0.41	11.74	34	42	21	3
100–110	4.00	5.90	2.22	0.38	12.50	32	47	18	3

вает на развитие солонцового процесса почвообразования. Во всех почвах данного участка доля магния увеличивается с глубиной из-за увеличения количества магния в почвенных растворах.

Участок в долине р. Кулунда находился в ее среднем течении у с. Нижняя Чуманка Алтайского края. Он имел наименьший уклон, поэтому смена почв от вершины всхолмленного участка к пойме р. Кулунда наблюдалась на большем расстоянии, чем на остальных участках. В элювиальной зоне вскрыта лугово-черноземная глубоковскипающая маломощная слабогумусированная супесчаная (P7 53.235041° N, 80.640819° E), в суперкавальной – солонец черноземно-луговой солончаковый средний легкосуглинистый (P8 53.226948° N, 80.645954° E), в трансуперкавальной – луговая солончаковая маломощная слабогумусированная супесчаная (P9 53.220978° N, 80.643439° E) (рис. 6).

Минерализация речных вод изменялась от 1.2 г/л во время половодья до 2.0 г/л в конце лета. Минерализация речных вод во время половодья разли-

чалась также в разных точках течения: в месте слияния с р. Черемшанкой – 0.6 г/л, ниже по течению на территории ключевого участка – 1.2 г/л, далее в месте слияния с р. Пайвой – 1.3 г/л, в устье (п. Шимолино) – 0.9 г/л. Таким образом, речные воды обогащаются солями, выносимыми с территории ключевого участка, а до впадения в оз. Кулундинское разбавляются тальми водами. В конце лета наблюдается другая ситуация: минерализация речных вод на ключевом участке – 1.99 г/л, а в устье – 3 г/л, что свидетельствует о переносе солей рекой с территории участка в оз. Кулундинское (минерализация которого достигала 143–153 г/л [16, 20]).

Грунтовые воды ключевого участка имели разный качественный состав и минерализацию. Под луговой солончаковой почвой минерализация грунтовых вод достигала 8.4 г/л, а под солонцом – 10.5 г/л.

Высокая минерализация грунтовой воды солонца была обусловлена повышенным содержанием гидрокарбонатов (в 3 раза) и сульфатов (в

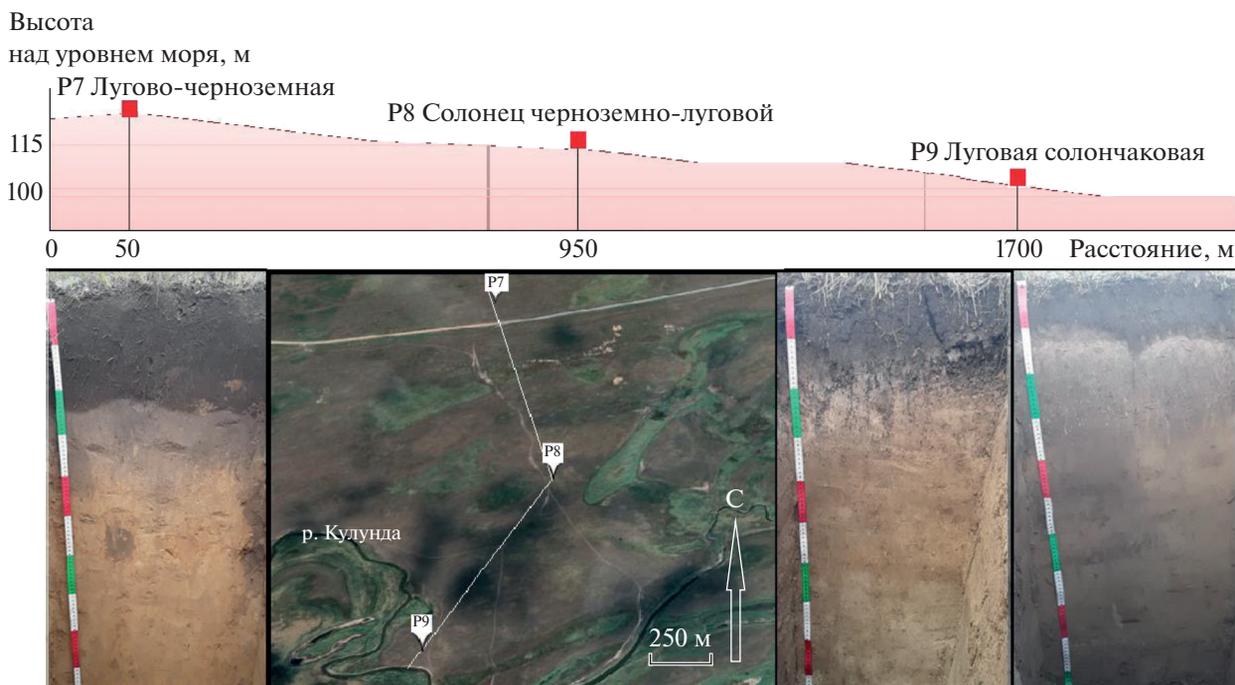


Рис. 6. Катена почв долины р. Кулунда.

1.5 раза), тогда как хлоридов напротив, было в 2 раза меньше, чем в грунтовой воде луговой засоленной почвы. В катионном составе грунтовой воды под солонцом преобладал катион натрия (концентрация в 3 раза больше, чем магния), тогда как в грунтовой воде под луговой почвой натрия содержалось в 2 раза меньше, чем в грунтовой воде под солонцом. Эти различия свидетельствуют о застойном режиме грунтовых вод и существенном влиянии на них атмосферных осадков, проходящих сквозь почвенный профиль, т.е., с одной стороны, грунтовые воды засоляют почвенный профиль восходящим движением легкорастворимых солей, а во время инфильтрации атмосферных осадков сквозь почвенную толщу они вымывают соли обратно в грунтовые воды [31]. Таким образом, в зависимости от водопроницаемости и промываемости почвы и зоны аэрации аккумулирующиеся в них соли могут частично или полностью возвращаться в грунтовые воды. При слабой водопроницаемости почв (как в солонце) почти все соли остаются на месте; их миграция в данном случае может осуществляться только путем диффузии. В случае хорошей водопроницаемости, но малого количества инфильтрационных вод в грунтовой водоносный горизонт проникают только хорошо растворимые хлоридные и сульфатные соли, повышая минерализацию грунтовых вод. Сульфаты кальция и карбонаты щелочноземельных металлов остаются в зоне аэрации почв [26].

Луговая солончаковая почва сформировалась близко к руслу реки (42 м), которая в сухое время летне-осеннего периода дренирует прилегающие территории, вызывая падение уровня грунтовых вод.

В грунтовых водах долины р. Кулунда обнаружено повышенное содержание гидрокарбонатов, что нашло отражение и в качественном составе солей, содержащихся в профиле гидроморфных почв.

Профиль солонца имел среднюю степень засоления (до 0.36% токсичных солей), а профиль луговой почвы, незасоленный в верхних горизонтах, был средне и сильно засолен в нижних (до 0.41% токсичных солей на глубине 43–53 см). Солонец имел более тяжелый гранулометрический состав, грунтовые воды обнаружены на меньшей глубине (200 см под солонцом, 335 см под луговой почвой) и содержали большее количество солей (10.5 г/л под солонцом и 8.4 г/л под луговой). Данное обстоятельство может быть обусловлено большим расстоянием солонца от русла реки (426 м) и нахождением его в транзитной геохимической позиции, т.е. движение грунтовых вод здесь преимущественно горизонтально с разгрузкой в сторону русла. Луговая же почва расположена в 42 м от реки в западине, в аккумулятивной позиции. Весной сверху создавался застой талых вод, а снизу под действием гидростатического давления реки во время половодья поднимался уровень грунтовых вод. Несмотря на кратковременность такого

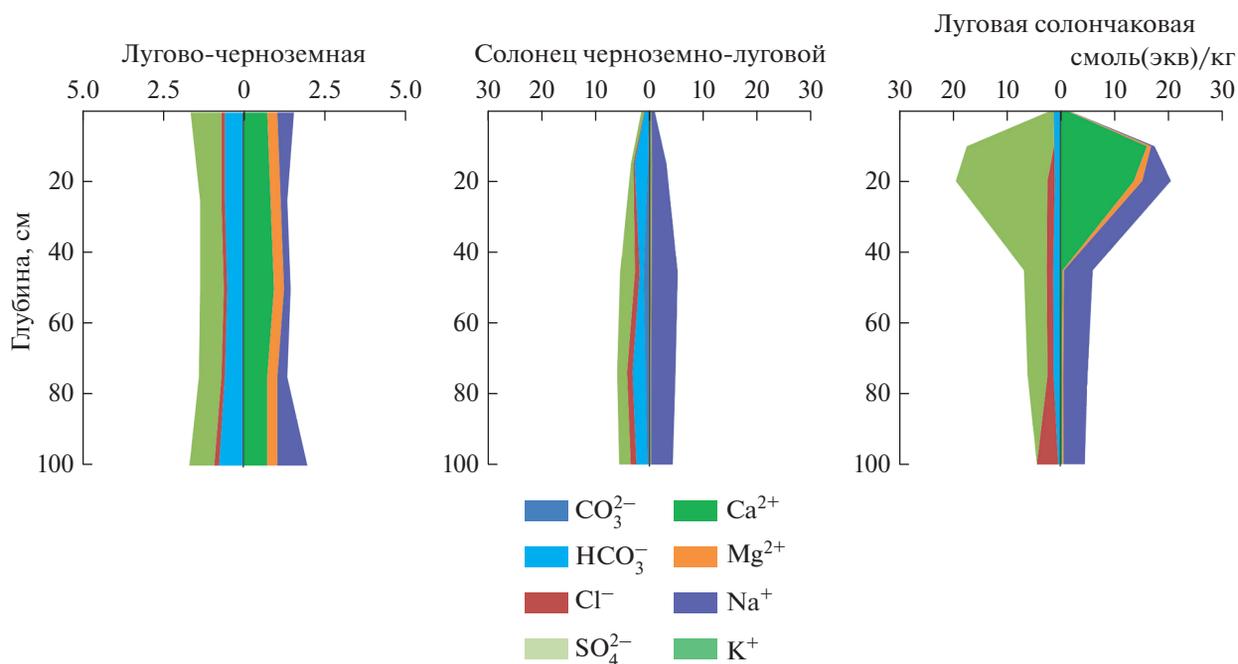


Рис. 7. Распределение солей по профилю почв в долине р. Кулунда.

Таблица 6. Состав обменных катионов почв участка в долине р. Кулунда

Глубина, см	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Сумма	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
	соль(экв)/кг					% от суммы			
Лугово-черноземная почва (P7)									
0–20	8.40	1.31	0.09	0.23	10.03	84	13	1	2
20–32	8.40	1.31	0.09	0.14	9.94	85	13	1	1
32–39	5.80	1.31	0.09	0.13	7.33	79	18	1	2
47–57	5.80	1.64	0.09	0.16	7.69	75	21	1	2
85–95	7.20	1.64	0.09	0.17	9.10	79	18	1	2
Солонец черноземно-луговой (P8)									
0–11	12.00	3.61	0.49	0.51	16.61	72	22	3	3
11–24	10.80	7.22	2.41	0.53	20.96	52	34	11	3
40–50	2.80	2.30	3.03	0.41	8.54	33	27	35	5
65–75	2.80	2.30	2.94	0.30	8.34	34	28	35	4
88–98	2.20	2.30	2.61	0.26	7.37	30	31	35	4
Луговая солончаковая почва (P9)									
0–14	14.60	1.48	0.09	0.49	16.66	88	9	1	3
14–17	12.00	1.31	0.30	0.16	13.77	87	10	2	1
20–30	8.40	2.95	1.84	0.24	13.43	63	22	14	2
43–53	4.60	3.61	2.31	0.27	10.79	43	33	21	3
70–80	2.20	3.61	2.03	0.24	8.08	27	45	25	3
93–103	1.60	4.26	1.64	0.22	7.72	21	55	21	3

подъема, интенсивность соленакопления могла быть очень высокой.

На территории бассейна р. Кулунда в фоновых почвах автономных позиций профильное распределение обменных катионов не имеет принципиальных отличий по сравнению с фоновыми почвами предыдущих ключевых участков (табл. 6). На долю кальция приходится 70–80%, магния – 15–30% от суммы обменных катионов. Содержание обменного натрия невелико и обычно не превышает 0.2 смоль(экв)/кг. Вместе с тем общая емкость катионного обмена в 1.5–2 раза меньше, чем в схожих почвах предыдущих катен, в связи с более легким гранулометрическим составом почв.

В засоленных почвах количество кальция в поглощающем комплексе значительно уменьшается с глубиной, а доля магния и натрия увеличивается. Так, в солонце доля обменного натрия ниже солонцового горизонта достигает 35%, что связано с щелочной реакцией почвенной среды (рН 8.9) и значительным преобладанием (более 90%) натриевых легкорастворимых солей в почвенном растворе. В таких условиях происходит переход водорастворимого натрия из почвенного раствора в катионнообменный комплекс и, при накоплении его в количестве более 3–5 смоль(экв)/кг на фоне низкой общей концентрации солей, развивается солонцовый процесс почвообразования [24, 30].

Во всех исследуемых почвах установлена сильная взаимосвязь ($R^2 = 0.75$) между содержанием катиона Na^+ в почвенном растворе и его содержанием в почвенном поглощающем комплексе. Максимальная доля обменного натрия наблюдается там, где в почвенно-грунтовых водах присутствует растворенная сода и рН больше 8. Преобладание двухвалентных катионов (прежде всего кальция как растворенного, так и обменного) в профиле характерно только для незасоленных почв водоразделов (автоморфных территорий) и незасоленных горизонтов почв аккумулятивных позиций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На исследуемой территории наблюдалось закономерное постепенное поднятие уровня грунтовых вод от повышенных элементов рельефа к пониженным. При слабой минерализации грунтовые воды имели содовое засоление, при высокой – смешанное, хлоридно-сульфатное. В отдельных случаях грунтовые воды достигали минерализации 50–60 г/л, свидетельствующей об отсутствии их оттока и интенсивном испарительном концентрировании.

Для незасоленных почв элювиальных позиций характерна опресненность верхних горизонтов вплоть до карбонатного горизонта (расположенного обычно на глубине 60–90 см). Химизм поч-

венных растворов гидрокарбонатно-сульфатный с преобладанием катионов кальция. Нередко в нижних горизонтах почв отмечалось присутствие соды и хлорида натрия.

Все почвы гидроморфного ряда характеризовались наличием солей в профиле. Качественный состав солей зависел от степени засоления. В почвах средне- и тяжелосуглинистого состава доминировало хлоридно-сульфатное засоление с участием соды, из катионов преобладал натрий. Высокая доля обменного натрия в почвенно-катионнообменном комплексе при невысокой концентрации легкорастворимых солей в почвенном растворе свидетельствует о процессе осолонцевания этих почв. В почвах более легкого гранулометрического состава почвенные растворы сульфатно-гидрокарбонатного состава, из катионов преобладал кальций. При этом содопроявление наиболее существенно в солонцовых почвах.

На многих участках исследований наблюдался процесс засоления почв трансаккумулятивных и супераккумулятивных элементарных ландшафтов грунтовыми водами. Глубина залегания минерализованных грунтовых вод на ключевых участках под полугидроморфными почвами находилась в пределах 1.8–3 м (июнь), под гидроморфными – 0.5–0.7 м. Резко выделялась минерализация грунтовых вод в долине р. Бурла – 51–63 г/л, тогда как на других участках минерализация находилась в пределах 10 г/л. Почвы долины р. Бурла также отличались более сильным засолением по сравнению с остальными.

При этом минерализация речной воды р. Бурла с конца мая до конца июня увеличилась в 13 раз и составила 21 г/л.

Химизм засоления почвенных растворов хлоридно-сульфатного типа с преобладанием катионов натрия наблюдался в полугидроморфных почвах, кальция – в автоморфных. При этом от водораздела к реке наблюдалось увеличение доли хлоридных солей.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН и при финансовой поддержке РФФИ грант № 21-55-75002.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азиева Д.С., Гаджиев И.Р., Биарсланов А.Б., Абдурашидова П.А., Желновакова В.А. О сезонной динамике засоления почв Терско-Кумской низменности //

- Естественные науки. 2022. № 2(7). С. 46–64. https://doi.org/10.54398/1818507X_2022_2_46
2. *Архипов С.А., Вдовин В.В., Мизеров Б.В., Николаев В.А.* Западно-Сибирская равнина. М.: Наука, 1970. 279 с.
 3. *Ахмедов А.У., Каримов Х.Н., Узаков З.З., Бурханова Н.Х.* Содержание водорастворимых и токсичных солей в типичных орошаемых сероземных почвах и засоление территории Каршинской степи Узбекистана // Научное обозрение. Биологические науки. 2021. № 4. С. 83–88.
 4. *Базилевич Н.И.* Геохимия почв содового засоления. М.: Наука, 1965. 351 с.
 5. *Базилевич Н.И., Панкова Е.И.* Опыт классификации почв по засолению // Почвоведение. 1968. № 11. С. 3–16.
 6. *Базилевич Н.И., Розанов Ю.А.* Почвы Алтайского края. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1959. 383 с.
 7. *Боровский В.М.* Формирование засоленных почв и галогеохимические провинции Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1982. 256 с.
 8. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
 9. *Воробьева Л.А.* Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
 10. *Глазовская М.А.* Геохимические основы типологии и методики исследования природных ландшафтов. Смоленск, М.: Ойкумена, 2002. 288 с.
 11. *Горохова И.Н., Чурсин И.Н.* Засоление почв в долине Дона в условиях прекращения орошения // Аридные экосистемы. 2022. Т. 28. № 2(91). С. 102–112. <https://doi.org/10.24412/1993-3916-2022-2-102-112>
 12. *Докучаева Л.М., Юркова Р.Е.* Грунтовая вода – критерий экологического состояния почв // Экология и водное хозяйство. 2019. № 1. С. 18–29.
 13. *Елизаров Н.В., Попов В.В., Семдяева Н.В.* Современный гидроморфизм солонцов лесостепной зоны Западной Сибири // Почвоведение. 2020. № 12. С. 1451–1459. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20120059>
 14. *Кац Д.М.* Гидрогеология / Д.М. Кац. М.: Колос, 1969. С. 96–97.
 15. *Кац Д.М., Паишковский И.С.* Мелиоративная гидрогеология. М.: Агропромиздат, 1988. 256 с.
 16. *Колпакова М.Н., Борзенко С.В., Исупов В.П., Шацкая С.С., Шварцев С.Л.* Гидрохимия и геохимическая типизация соленых озер степной части Алтайского края // Вода: химия и экология. 2015. № 1(79). С. 11–16.
 17. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977 г. 225 с.
 18. Кулундинская степь и вопросы ее мелиорации. Новосибирск: Наука, 1972. 507 с.
 19. *Лазарев К.Г.* Гидрохимический очерк равнинной части течения реки Амур-Дарьи. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 107 с.
 20. *Лебедева М.П., Лопухина О.В., Калинина Н.В.* Особенности химико-минералогического состава солей в соровых солончаках и озерах Кулундинской степи // Почвоведение. 2008. № 4. С. 467–480.
 21. *Минеев В.Г.* Практикум по агрохимии М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 687 с.
 22. *Панин П.С., Долженко И.Б., Чуканов В.И.* Процессы засоления и рассоления почв Новосибирск: Наука, 1976. 176 с.
 23. *Панкова Е.И., Черноусенко Г.И.* Проблема активизации засоления в почвах юга Восточной Сибири и Монголии в связи с аридизацией климата // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2020. № 101. С. 19–45. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-19-46>
 24. *Панкова Е.И.* Засоленные почвы России. М.: ИКЦ “Академкнига”, 2006. 854 с.
 25. *Перельман А.И.* Засоление и рассоление ландшафтов // Геохимия ландшафтов: теория миграции химических элементов в природных ландшафтах. М., 1975. С. 6–26.
 26. *Польнов Б.Б., Быстров С.В.* Об изменениях растворов солей, циркулирующих в почвах // Почвоведение. 1932. № 3. С. 293–298.
 27. *Посохов Е.В.* Формирование химического состава подземных вод Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1969. 335 с.
 28. *Савич В.И., Седых В.А., Сорокин А.Е., Котенко М.Е., Тазин И.И.* Агроэкологическая оценка засоления почв // АгроЭкоИнфо. 2022. № 2(50). <https://doi.org/10.51419/202122206>
 29. *Угланов И.Н.* Мелиорируемая толща почв и пород юга Западной Сибири. Новосибирск: Наука: Сиб. отд-ние, 1981. 193 с.
 30. *Хитров Н.Б., Панкова Е.И., Новикова А.Ф., Черноусенко Г.И., Ямнова И.А.* Теоретические и методические основы предотвращения вторичного засоления. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2013. Т. 1. С. 383–464.
 31. *Шаверыгин П.И.* О токсичности концентраций почвенных растворов в Барабинской низменности // Почвоведение. 1963. № 1. С. 85–92.
 32. *Duarte H.H.F., Souza E.R.* Soil Water Potentials and *Capsicum annuum* L. under Salinity // Revista Brasileira de Ciência do solo. 2016. V. 40. P. e0150220. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150220>
 33. *Hossain M.S., Rahman G.M., Solaiman A.R.M., Alam M.S., Rahman M.M., Mia M.B.* Estimating electrical conductivity for soil salinity monitoring using various soil-water ratios depending on soil texture // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2020. V. 51. P. 635–644. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1729378>
 34. *Miller J., Brierley J.* Solonetzic soils of Canada: Genesis, distribution, and classification // Can. J. Soil Sci. 2011. V. 91. P. 889–902. <https://doi.org/10.4141/cjss10040>
 35. *Smagin A.V., Sadovnikova N.B., Belyaeva E.A. et al.* Capillary Effects in Polydisperse Systems and Their Use in Soil Engineering // Eurasian Soil Sc. 2021. V. 54. P. 1433–1446. <https://doi.org/10.1134/S1064229321090106>

Salinization and Solonetsization of Soils in River Valleys of the Kulunda Plain

N. V. Elizarov^{1, *}, V. V. Popov¹, I. D. Rybkina², and B. A. Smolentsev¹

¹*Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, 630090 Russia*

²*Institute of Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, 656038 Russia*

**e-mail: elizarov@issa-siberia.ru*

The surface of the Kulunda Plain is dissected by a system of ancient wide valleys, former runoff hollows, which have a very small slope (less than 1°). Rivers flow along these weakly expressed valleys, redistributing readily soluble salts throughout the territory. The regime of these rivers is characterized by a sharp and high flood wave and low (up to complete drying) runoff in the summer. The purpose of this work is to study the ion-salt system of soils of ancient runoff troughs of the Kulunda Plain, groundwater and river waters in order to identify modern processes of soil salinization. During floods, river water feeds close-lying groundwater, influencing its chemical composition. Studies of three key sites in the valleys of the Bagan (Novosibirsk region), Burla and Kulunda (Altai Territory) rivers took place in 2021–2022. Ground waters of varying degrees of mineralization (from 3.4 to 63.0 g/l) and lie close to the surface (2–5 m), which causes a wide distribution of saline hydromorphic soils in the study area. Differences in the salt state of soils in different valleys, groundwater and river waters are discussed. The degree of salinization of soils depended on their granulometric composition. The high content of physical clay contributed to the rise of salts with groundwater and their accumulation in the soil profile. A large amount of exchangeable sodium in the soil absorbing complex of the studied soils (more than 3–5 cm (eq)/kg), the predominance of easily soluble sodium salts in the soil solution with its low mineralization, as well as the alkaline reaction of the soil medium indicates the manifestation of the process of soil salinization.

Keywords: groundwater, solonetzes, critical level of groundwater, Chernozems, Solonetz, Kastanozems, Gleyic Chernozems