

СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ДРЕНАЖНЫХ И РЕЧНЫХ ВОДАХ ДОЛИНЫ РЕКИ МОСКВЫ И ОСОБЕННОСТИ ИХ МИГРАЦИИ

*Н.А. Муромцев, Почвенный институт им. В.В. Докучаева,
А.В. Шурвилин, Е.А. Пивень, Российский университет дружбы народов*

Исследования проводили на дренажной системе с аллювиальными луговыми и аллювиальными лугово-болотными суглинистыми почвами в долине среднего течения р. Москвы (Одинцовский почвенно-гидрологический стационар Почвенного института им. В.В. Докучаева) в 1981—1985., 1996—1998 и 2001—2003 гг. Дренажная система (30 га) представляет собой закрытую коллекторно-дренажную сеть со смотровыми колодцами. Сброс дренажного стока из главного коллектора осуществляется в р. Москву. Методика исследования базируется на общеизвестных методах, принятых в почвоведении и мелиорации почв [2, 4, 6].

Процесс дренирования аллювиальных почв происходит в течение всего периода работы дренажа, когда коллекторно-дренажная сеть отводит фильтрационные потоки влаги, расположенные выше зеркала грунтовых вод. Химизм дренажного стока обусловлен выносом из почвы водорастворимых веществ атмосферными осадками, а также грунтовыми потоками воды дренируемой территории в дренажную систему. Величина выноса из почвы химических веществ в определенной степени зависит от эффективности действия дренажа, режима орошения и норм полива. Потери химических элементов определяются также типом почвы и особенностями строения почвенного профиля. Химический состав дренажного стока зависит также от сезона года.

Минимальные значения выносов из аллювиальных почв приурочены к зимнему периоду. Максимальные их вели-

чины отмечены в весенние и осенние месяцы (табл. 1). Те же закономерности изменения концентраций во времени отмечались и в отношении отдельных катионов и анионов. Катионы по концентрации в порядке убывания дренажных водах располагались в ряд: кальций — магний — натрий — калий. Из анионов в водах больше всего содержится гидрокарбонат-иона (246—248 мг/л), хлор-иона (79—91 мг/л) и сульфат-иона (48—53 мг/л). Содержание общего азота колеблется от 0,56 до 1,76 мг/л, причем максимум его приходится на апрель (паводок).

Указанные закономерности распределения химических веществ в дренажных водах во времени и соотношение их между собой в целом сохраняются во все годы. Содержание катиона натрия в 1996—1998 и 2000—2003 гг. значительно возросло. Содержание кальция существенно уменьшилось со 113 мг/л (1985 г.) до 64 мг/л (в среднем за 2001—2003 гг.). Содержание кальция в середине 1970-х гг. составляло 122 мг/л [3]. Следовательно, вынос кальция из почвы и его содержание в дренажном стоке уменьшились почти в 2 раза.

Содержание калия и фосфора за 18-летний период наблюдений практически не изменилось. Содержание анионов также не претерпело значительных изменений, если не принимать во внимание некоторые колебания их значений как по годам, так и месяцам наблюдений.

Максимальный вынос химических веществ из почвы приходится на периоды с наибольшими суммами осадков

Таблица 1. Химический состав дренажных вод за теплый период, мг/л														
Время отбора проб вод	рН	С _{орг.}	N	P	K	Ca	Mg	Na	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Сумма солей	
													по месяцам	среднее
1985 г.														
IV	7,0	9,60	1,76	0,14	2,0	113	11	12	—	205	77	48	451	486
V	7,8	14,70	1,06	0,17	2,0	114	12	11	18	237	71	53	505	
VI	7,2	9,20	1,50	0,07	1,0	114	14	12	—	246	79	53	506	
X	7,1	10,00	0,66	0,08	1,6	110	12	12	—	214	78	53	481	
1996 г.														
V	7,2	8,60	0,56	0,18	2,0	83	10	29	—	165	71	34	403	429
VII	7,1	8,60	1,20	0,15	2,0	75	9	30	2	174	77	34	403	
XI	7,1	9,80	2,40	0,13	2,0	91	12	25	4	215	85	40	482	
1997 г.														
V	7,3	9,30	—	0,13	2,0	72	13	29	—	167	69	31	392	400
VII	7,1	9,80	2,30	0,13	1,6	64	12	26	—	193	60	29	398	
X	6,9	7,60	0,91	0,17	2,0	80	11	26	—	182	63	38	411	
1998 г.														
IV	7,2	6,40	—	0,12	1,0	76	9	16	5	193	37	34	344	402
VI	7,1	7,40	0,10	0,12	2,0	78	10	26	23	176	59	19	411	
X	7,5	2,90	0,70	0,15	2,0	58	6	26	—	218	49	34	397	
XI	7,1	10,80	0,10	0,13	1,0	81	15	21	11	236	46	33	455	
2001 г.														
V	7,5	6,50	—	—	2,0	53	12	9	—	201	18	13	308	375
VI	7,6	—	—	0,18	2,0	58	22	20	—	234	44	6	386	
X	7,1	11,40	—	0,19	2,0	79	8	32	—	215	59	35	430	
2002 г.														
IV	7,2	9,10	—	0,15	3,0	60	16	23	11	231	50	33	418	412
VI	7,3	7,60	—	0,13	2,0	75	6	39	2	179	75	31	404	
X	7,4	8,70	—	0,11	2,0	69	14	27	3	223	68	36	415	
2003 г.														
V	7,6	9,50	—	0,18	2,0	59	20	22	10	220	64	15	412	415
VI	7,1	8,60	—	0,16	2,0	54	24	28	—	235	62	8	408	
VIII	7,0	10,90	—	0,14	2,0	71	10	41	—	171	78	38	426	

(наиболее благоприятные условия для протекания почвенных процессов, включая микробиологические). Во все годы актуальная кислотность дренажного стока оставалась нейтральной. Показатель рН Н₂О изменялся в пределах 7,0—7,8. Содержание органического углерода и фосфора оставалось стабильным в течение многолетнего периода наблюдений. Наличие карбонат-иона было отмечено только в отдельные периоды в незначительных количествах. Из анионов в наибольших количествах в дренажном стоке обнаружено бикарбонат-иона (165—237 мг/л). При этом значительных изменений по годам не выявлено. Содержание ионов хлора и сульфат-иона в стоках было невелико.

Сумма солей в дренажном стоке в 1981—1985 гг. в среднем составляла 486 мг/л. В 2001—2003 гг. она варьировала в пределах от 426 до 408 мг/л (в среднем — 415 мг/л). Следовательно, за многолетний период работы дренажа произошло некоторое снижение содержания воднорастворимых солей в дренажном стоке. Это может быть обусловлено улучшением структурного состояния почв благодаря возделыванию многолетних трав в последние 5—10 лет, что предотвращало вынос из почвы химических элементов. Кроме этого, в последние годы удобрения в почву не вносили. Значительное содержание в дренажных водах некоторых ионов связано с усилением биологической активности почвы, обусловленной повышением температуры в верхней части почвенного профиля и подсыханием его после апрельского паводка до оптимальных значений влажности.

Анализ данных по содержанию макроэлементов в речных [5] и дренажных водах свидетельствует о том, что

более высокое содержание солей щелочноземельных катионов обнаружено во вторых водах по сравнению с первыми. Среднегодовое содержание органических веществ в дренажном стоке значительно ниже, чем в речных водах; несколько ниже здесь и значение рН, а также содержание азота, фосфора и калия. Такое соотношение двух групп макроэлементов в речных и дренажных водах объясняется тем, что вторые выносятся преимущественно с поверхности почвы из самых верхних слоев (0—5, 0—10 см) и поступают в реку или в гидрографическую сеть главным образом с поверхностным стоком дождевых и паводковых вод. Первая группа элементов (щелочноземельные) выносятся из более глубоких слоев почвы и грунтов фильтрационными потоками, направленными в глубь почвогрунтов и в грунтовые воды, а затем и в гидрографическую сеть (путем выклинивания).

Среднегодовая динамика микроэлементов (табл. 2), их распределение во времени за 1981—1998 гг. [5] и по данным 2001—2003 гг. весьма неоднозначны. Предельно допустимые концентрации превышает только содержание алюминия. Его концентрация в дренажном стоке существенно выше содержания в речных водах. Содержание остальных микроэлементов нередко весьма значительно, однако существенно ниже ГДК, и только иногда некоторые из них, например, концентрации свинца (1990, 2001 и 2003 гг.), марганца (1990 г.) и калия (2001—2003 гг.) заметно превышают ПДК.

Размах колебаний содержания микроэлементов в течение сезона почти всегда огромен и составляет для марганца 13 раз, цинка — 8—10 раз, кадмия — 0—2000 раз, свинца — до 6000 раз.

Такое исключительно большое колебание содержания микроэлементов в дренажном стоке согласуется с аналогичными колебаниями микроэлементов в речных и грунтовых водах [5].

Такая исключительная большая колебания содержания микроэлементов в дренажном стоке согласуется с аналогичными колебаниями микроэлементов в речных и грунтовых водах [5].

Весьма интересен и важен вопрос об интервалах концентраций и макроэлементов. Представленные данные (табл. 3) свидетельствуют о весьма широком интервале концентраций большинства макроэлементов. В среднем по всем объектам наблюдений превышения максимальных значений над минимальными составляют для органического вещества 2 раза, фосфора — 2, калия — 1,5—2, кальция — 3, магния — 2—4, натрия — 1,5—3, CO₃ — 2—8, хлора — 1,5—4 и SO₄ — 6—7 раз. Значительный размах колебаний концентраций макроэлементов, в сущности, за сравнительно небольшой отрезок времени (3 года) объясняется высокой динамичностью и подвижностью химических элементов в системе атмосферный воздух — почва — грунтовые воды. Высокая динамичность элементов, в свою очередь, определяется быстрой сменой и различием биоклиматических условий на границе раздела

атмосфера-литосфера. Именно здесь происходит быстрая смена их состояний: синусоидальные изменения тепла, влаги, атмосферного давления, а растительный покров за этот промежуток времени успевает полностью пройти свой жизненный цикл. Существенное значение имеет и антропогенное воздействие, которое выражается в спонтанных выбросах в атмосферу газодымовых отходов промышленных производств, что обуславливает сначала резкое изменение их содержания в приземном воздухе, а затем и в остальных компонентах системы.

Таблица 2. Динамика содержания микроэлементов и тяжелых металлов в дренажном стоке (среднегодовые значения), мг/л

Год	Si	Al	Fe	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd	Ni
1981	3,0	1,51	0,04	0,03	0,01	0,01	0,08	0,002	0,03
1982	3,5	1,8	0,08	0,04	0,01	0,02	—	—	0,06
1990	3,3	1,26	0,06	0,02	0,02	0,21	0,32	0,02	0,02
1991	4,1	1,86	0,04	0,03	0,03	0,006	0,001	—	—
1992	2,0	6,31	0,05	0,018	0,04	0,095	0,002	—	0,007
1993	—	—	0,07	0,17	0,01	0,05	0,002	—	0,010
1994	—	—	0,05	0,004	0,04	0,04	0,004	0,0002	<0,004
1995	—	—	0,09	0,03	0,05	0,06	0,003	0,0005	<0,005
1996	—	—	0,09	0,04	0,02	0,05	0,001	0,001	<0,005
1997	—	—	0,03	0,02	0,05	0,03	0,002	0,002	<0,005
1998	—	—	0,02	0,01	0,01	0,02	0,002	0,001	<0,005
2001	—	—	0,01	<0,02	0,01	0,06	<0,1	<0,01	<0,001
2002	—	—	0,02	<0,02	0,01	<0,02	<0,03	<0,01	0,02
2003	—	—	<0,02	<0,02	<0,01	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01
ПДК	—	—	0,3	1,0	1,0	0,1	0,03	0,001	0,1

Таблица 3. Интервалы колебаний концентраций макроэлементов за 2001—2003 гг., мг/л

Объекты	Амплитуда	pH	C _{орг.}	P	K	Ca	Mg	Na	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄
Река Москва	Минимум	7,2	6,10	0,09	1	35	9	8	1,1	189	15	4
	Максимум	8,5	11,64	0,19	2	82	16	23	2,0	224	45	29
	Среднее	7,8	8,50	0,13	1,8	54,9	13,1	11,1	1,5	213,8	21,7	14,1
Река Слезня	Минимум	7,8	5,82	0,32	3	46	14	21	1,1	226	43	6
	Максимум	8,2	12,90	0,60	5	86	27	31	8	312	59	36
	Среднее	8,0	10,60	0,50	3,9	61,4	18,1	25,7	5,0	246,3	50,6	25,7
Дренажные стоки	Минимум	7,0	6,47	0,11	2	53	6	9	2	174	18	6
	Максимум	7,6	11,64	0,19	3	79	24	39	11	235	78	38
	Среднее	7,3	9,10	0,16	2,1	64,2	14,7	26,8	5,3	211,6	57,6	23,9

Таблица 4. Интервалы колебаний микроэлементов за период наблюдений в 2001—2003 гг., мг/л

Объект наблюдений	Амплитуда колебаний	Fe	Pb	Cu	Mn	Zn	Ni	Cr	Cd	Li
Река Москва	Минимум	0,01	0,01	0,01	0,002	0,01	0,002	0,02	0,01	0,003
	Максимум	0,07	0,03	0,02	0,04	0,02	0,036	0,01	0,01	0,02
	Среднее	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,021	0,05	0,01	0,014
Река Слезня	Минимум	0,01	0,01	0,01	0,001	0,01	0,01	0,02	0,01	0,001
	Максимум	1,7	0,04	0,04	0,34	0,02	0,02	0,052	0,01	0,022
	Среднее	0,23	0,021	0,021	0,051	0,013	0,016	0,048	0,01	0,08
Дренажные стоки	Минимум	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,001
	Максимум	0,03	0,1	0,01	0,06	0,02	0,02	0,142	0,01	0,02
	Среднее	0,014	0,04	0,01	0,018	0,014	0,013	0,045	0,01	0,01

Размах варьирования концентраций микроэлементов и их среднее значение за период 2001—2003 гг. в речных и дренажных водах приведены в табл. 4. Средние значения рассчитаны по 3-летним данным. Распределение данных среди микроэлементов — неодинаковое. Наибольший размах колебаний характерен для вод р. Слезни. Здесь разница в колебаниях достигла для Fe 170 раз, Mn — 340, Li — 6 раз, а для остальных микроэлементов — не более 4 раз. Для вод р. Москвы разница концентраций микроэлементов в основном составляла не более 3—6 раз. В дренажном стоке различия в их содержании невелики, за исключением железа, свинца, марганца и хрома, где амплитуда колебаний значений составляет 14 раз.

Коэффициенты водной миграции, представляющие собой отношение процентного содержания элемента в сумме солей природной воды к процентному его содержанию в почвогрунтовой толще [1] показали, что чем выше коэффициент, тем сильнее выражена интенсивность миграции элементов.

Значения коэффициентов водной миграции кальция и хлора для дренажных вод значительно выше, чем для речных, что подтверждает сделанное ранее заключение об интенсивном выносе этих элементов за пределы мелиорируемой территории.

Если разбить изученные элементы на группы с различными значениями их коэффициентов водной миграции ($K_{\text{вм}}$), то окажется, что как для дренажных, так и речных вод в группе очень сильных мигрантов оказываются хлор ($K_{\text{вм}} = 588—733$). В группу средних мигрантов попадают магний ($K_{\text{вм}} = 3—6$), натрий ($K_{\text{вм}} = 4$) и медь ($K_{\text{вм}} = 3—4$). Все остальные элементы с коэффициентами водной миграции равными или меньшими единицы относятся к группе слабых или очень слабых мигрантов.

Железо как для дренажных, так и для речных вод имеет примерно одинаковый коэффициент подвижности. Подвижность железа в условиях нейтральных и слабощелочных вод, если судить о ней по величине $K_{\text{вм}}$, существенно ниже всех других химических элементов. Обращает на себя внимание более высокая подвижность меди ($K_{\text{вм}} = 3—4$) и цинка ($K_{\text{вм}} = 0,5—1$) по сравнению с породообразующими элементами [5].

Таким образом, из катионов больше всего выносятся кальция и магния. Содержание кальция в дренажных водах за 23-летний период наблюдений почти в 2 раза уменьшилось, что свидетельствует об обеднении им почвы. Из анионов в дренажных водах больше всего содержится гидрокарбонат-иона, хлор-иона и сульфат-иона. Содержание калия, фосфора и аминов за период наблюдений существенно не изменилось, однако отмечено значительное колебание их значений по месяцам и годам. Содержание микроэлементов в природных водах весьма значительно. Размах колебаний их содержания огромен и составляет в течение лишь одного сезона для марганца 13 раз, цинка — 8—10 раз, кадмия — в пределах 0—2000 раз, а свинца и того более — до 6000 раз. Содержание некоторых микроэлементов бывает иногда весьма значительным, однако существенно ниже ПДК. Исключения представляют свинец (1990, 2001 и 2003 гг.) и марганец (1990 г.), концентрации которых в природных водах заметно превышают ПДК. Наиболее сильной миграционной способностью обладает хлор. К группе химических элементов со средней миграционной способностью относятся магний, натрий и медь. Все остальные химические элементы относятся к группе слабых и очень слабых мигрантов. 

Литература

1. Большаков В. А. Надежность анализа почв: проблемы и решения. М.: 1992, 114 с.
2. Муромцев Н. А. Мелиоративная гидрофизика почв. Л.: Гидрометиздат, 1981. 272 с.
3. Рабочев И.С., Муромцев Н.А. Вынос питательных веществ дренажными водами \ \ Гидротехника и мелиорация.1980.№9.С.78-80.
4. Роде А. А. Основы учения о почвенной воде. Л.: Гидрометиздат, 1965. Т 1. 664 с.
5. Шишов Л. Л., Муромцев Н. А., Большаков В. А., Орлова Л. П. Исследование режима влаги и химических веществ в агроландшафтах южной Тайги. М.: Изд-во РАСХН. 2001. 230 с.
6. Харченко С. И. Гидрология орошаемых земель. Изд. 2-е. Л.: Гидрометиздат, 1975. 373 с.