

УДК 626.82

Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ПОСТУПЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫЙ СТОК

Целью работы является оценка поступления загрязняющих веществ с орошаемых полей в коллекторно-дренажный сток на основе математических моделей. Острота проблемы состоит в отсутствии актуализированных данных о составе коллекторно-дренажного стока, отводимого с отдельно взятого орошаемого поля, и недостаточность современных разработок, позволяющих достоверно определять источник загрязнения. Нарушения в работе дренажных систем в Центральной (орошаемой) зоне Ростовской области способствуют неконтролируемому поступлению загрязненных грунтовых вод в поверхностные водоемы. Оценка присутствия загрязняющих веществ в стоке проводилась в эколого-аналитической лаборатории Российского научно-исследовательского института проблем мелиорации. На основании анализа полученных результатов установлено, что общую минерализацию стоков определяют сульфаты (в среднем 10 ПДК (предельно допустимая концентрация), ионы натрия (3 ПДК) и марганца (2,5 ПДК); преобладающий тип засоления – сульфатно-натриевый. Проведенные химические анализы коллекторно-дренажных вод за 2014–2015 гг. позволили доказать, что математические модели демонстрируют тесную корреляционную зависимость между минерализацией вод и их ионным составом. Установленная зависимость нередко близка к функциональной. Зависимости между содержанием отдельных ионов и минерализацией коллекторно-дренажного стока для каждой оросительной системы индивидуальны при однотипности ландшафта и гидрогеологических условий. Таким образом, совместная математическая обработка данных по загрязнению коллекторно-дренажных стоков с оросительных систем, находящихся в различных природных и сельскохозяйственных условиях, но рассматриваемых как один объект, обуславливает искусственное получение недостоверной информации по причине снижения тесноты связи между содержанием отдельных ионов и их суммой. Это затрудняет выявление географического расположения конкретного источника поступления загрязняющих веществ.

Ключевые слова: коллекторно-дренажный сток, загрязняющие вещества, естественная дренированность, минерализация, ионный состав, коэффициент корреляции.

Yu. Ye. Domashenko, S. M. Vasilyev

Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

MODELING AND EVALUATION OF POLLUTANTS INPUT INTO A COLLECTOR-DRAINAGE WATER

The aim of the paper is to estimate the pollutants input from irrigated fields into collector-drainage water on the basis of mathematical models. The acuteness of the problem is the lack of updated data on the composition of the collector-drainage water, taken from any irrigated field, and the lack of modern developments, allowing to identify the source of contamination reliably. Violations in the drainage systems operation in Central (irrigated) area of the Rostov region contribute to the uncontrolled flow of contaminated groundwater into

surface waters. The assessment of the pollutants presence in the run-off was conducted in eco-analytical laboratory of Russian Research Institute of Land Improvement Problems. Based on the analysis of the results revealed it was stated that sulfates (an average of 10 MPC = maximum permissible concentration), sodium ions (3 MPC) and manganese (2.5 MPC) determine the total mineralization of waste; predominant type of salinity is sodium sulphate. Chemical analysis of collector-drainage water for 2014–2015 made it possible to prove that the mathematical models show a close correlation between salinity waters and their ionic composition. The determined dependence is often close to the functional one. The dependencies between the salt content of separate ions and mineralized collector-drainage water for each irrigation system are individual at the uniformity of landscapes and hydrogeological conditions. Thus, the joint mathematical processing of data on drainage water pollution from irrigation systems located in different natural and agricultural conditions, but treated as a single object, causes a false inaccurate information due to lowering correlation ratio between the content of individual ions and their amount. It complicates the geographical location identification of a particular source of pollutants.

Keywords: collector-drainage water, contaminants, natural drainage, water salinity, ionic composition, the correlation coefficient.

Введение. Орошаемые почвы, почвообразующие и подстилающие породы тесно связаны миграцией химических элементов и в совокупности образуют сложные геохимические системы [1].

Почти все процессы миграции происходят в водных растворах, в которых химические элементы представлены в виде солей. В этой связи поверхностному и подземному стоку, нисходящим и восходящим движениям растворов в почвогрунте принадлежит определяющее значение в перераспределении химических элементов не только в разрезе орошаемого поля, но и за его пределами.

Особую роль в геохимии агроландшафта играют катионы Na^+ , Mg^{2+} и Ca^{2+} , именуемые щелочно-земельными металлами. При выветривании горных пород они обычно выделяются в виде оксидов и диоксидов. Попадая в почвенные растворы и грунтовые воды, они вступают в обменные реакции, образуя хлориды и сульфаты. Комбинации трех отмеченных катионов и четырех анионов: Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^{2-} образуют двенадцать солей, являющихся основой геохимии почв [2, 3].

Естественная дренированность, то есть обеспеченность подземного стока определяется гипсометрическим положением, расчлененностью рельефа и литологическим строением территории. Степень естественной

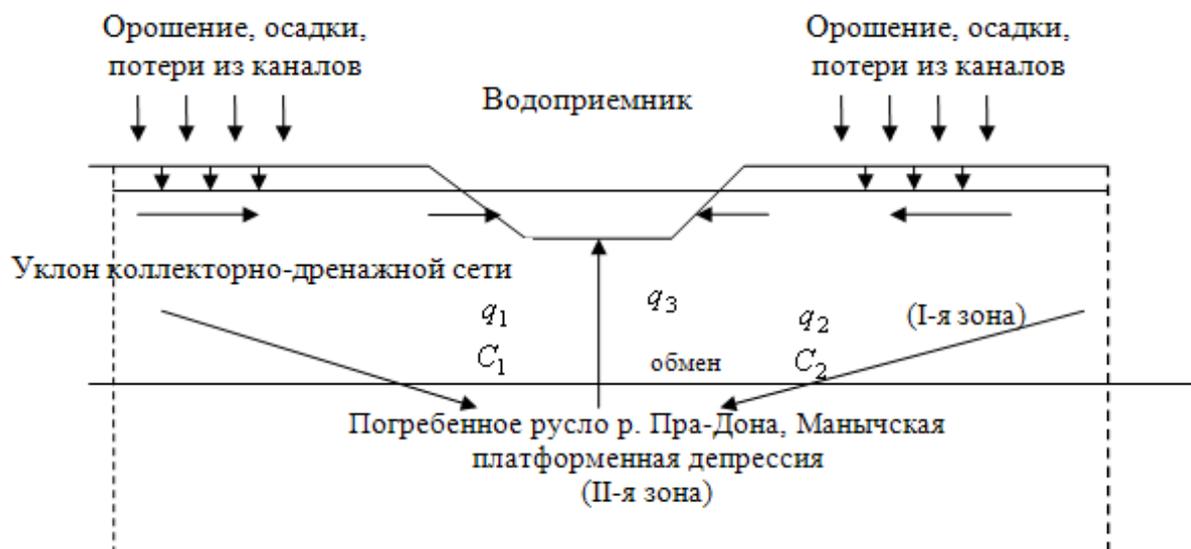
дренированности можно охарактеризовать соотношением двух составляющих уравнения водного баланса – суммарным испарением и суммарным стоком. Чем больше испарение, тем меньше степень дренированности объекта и тем больше солей остается в его пределах. Процессы рассоления регулируются суммарным стоком. При этом особенно большое значение имеет подземный сток, так как большая часть солей из почвогрунтов выносятся с ним [1, 2].

В процессе функционирования мелиоративных систем формируются потоки нисходящей фильтрации воды с различными элементами и соединениями, интенсивность которых зависит не только от комплекса природных, но и хозяйственных условий [3–5]. Сложившаяся ситуация затрудняет проведение своевременной оценки поступления загрязняющих веществ с поверхности орошаемых полей в коллекторно-дренажные стоки.

Целью представленной работы является оценка поступления загрязняющих веществ с орошаемых полей в коллекторно-дренажный сток на основе математических моделей.

Материалы и методы. Исследования по оценке загрязнения коллекторно-дренажного стока проводились на территории ряда хозяйств, обслуживаемых Донским магистральным каналом. Подготовка к созданию системы выявления загрязнителей в коллекторно-дренажных стоках осуществлялась на основании изучения схем оросительной, сбросной, коллекторной и дренажной сетей обследуемых оросительных систем и установления местоположения пунктов наблюдений.

Нарушения в работе дренажных систем Центральной (орошаемой) зоны способствуют неконтролируемому поступлению загрязненных коллекторно-дренажных стоков в поверхностные водоемы и водотоки. Известно, что структура элементов подземного питания водоприемников Центральной (орошаемой) зоны соответствует структуре потока вод в выделенной области (рисунок 1).



q_1, q_2 – суммарные притоки подземных вод в водоприемник с I-й зоны;
 q_3 – суммарный приток подземных вод в водоприемник со II-й зоны;
 C_1, C_2 – концентрации солей в подземных водах с I-й зоны

Рисунок 1 – Расчетная схема водно-солевого баланса

Для такой системы разрабатывается балансовая модель, которая описывает ее динамику посредством совокупности процессов переноса загрязняющих веществ. В качестве математического аппарата используются обыкновенные дифференциальные уравнения. Частным случаем являются так называемые компартментные (пространственные, объемные) модели. Они представляют объект в виде резервуаров (компартментов) и связующих их каналов [3–5].

В соответствии с рисунком 1, переток грунтовых вод из второй зоны в первую определяет приток в водоприемник с нижней части, равный величине расхода грунтовых вод. Приток в водоприемник с боковых сторон характеризуется боковым притоком грунтовых вод в верхнюю зону призмы. Величины расходов потока грунтовых вод вдоль водоприемника можно считать неизменными между выбранными двумя сечениями ввиду практически постоянных гидрогеологических условий [6–8].

По суммарному притоку подземных вод из зоны I в водоприемник (q), концентрации солей в них (C_I) и известному расходу можно оценить

их влияние на качество воды в водоприемнике. Следовательно, возможно определить области наиболее интенсивного загрязнения водоприемника (места расположения заиленных устьев закрытых дренажных коллекторов или открытых дрен) с целью установления оптимальных мест для устройства постов выявления загрязнителей [6].

Обработку выбранных для определения фоновых концентраций результатов наблюдений проводили по представленной схеме (рисунок 2).

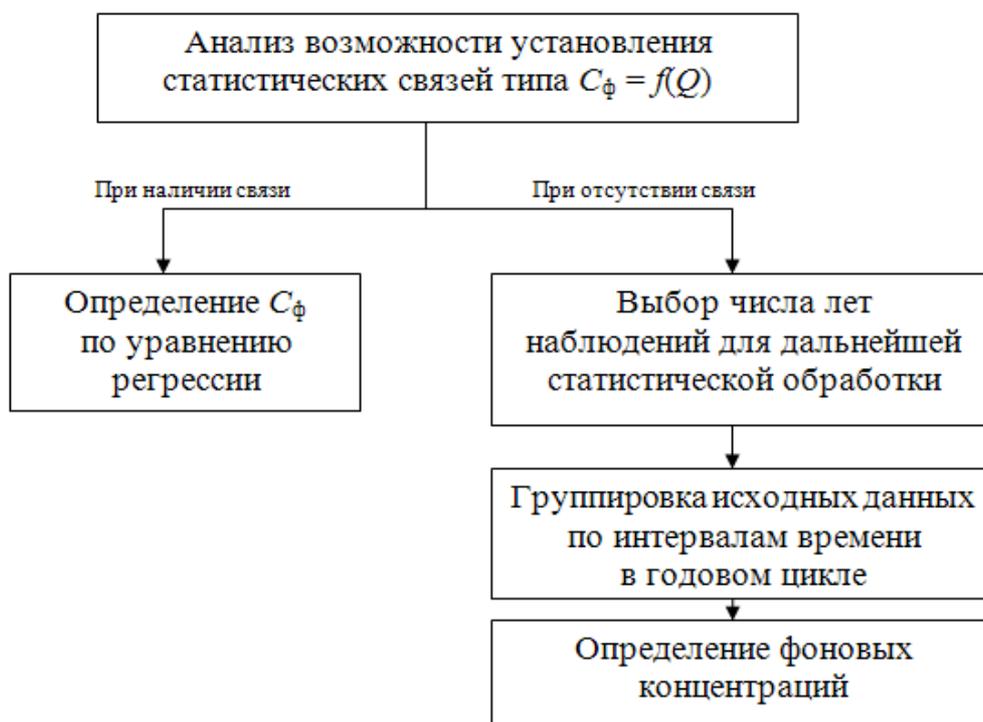


Рисунок 2 – Последовательность обработки результатов наблюдений

Оценку коллекторно-дренажных стоков производили по общеизвестным методикам в эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ».

Результаты исследований анализировались с учетом аппроксимации зависимостей между содержанием отдельных ионов и их суммой по логарифмической, показательной, степенной и прямолинейной функциям. При этом учитывалось отклонение точек, отражающих результаты химических анализов, от соединяющей их линии, полученной в результате аппроксимации.

Обработка полученных в эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ» результатов с помощью специализированного программного комплекса (21.3401.2625) позволила синтезировать аналитические данные, характеризующие то, насколько удачно аппроксимированы исследуемые зависимости, и в соответствии с этим выбирались описывающие их уравнения регрессии.

Логарифмическая, показательная и степенная функции охватывают все возможные случаи исследуемых зависимостей. В среде Statistica 6.0 составлены модели корреляционного анализа.

Результаты и обсуждение. В таблицах 1–3 представлена оценка коллекторно-дренажных стоков. Содержание загрязняющих веществ в коллекторно-дренажных стоках принципиально неоднородно по своему количественному составу [6–8], поэтому в зависимости от места отбора проб следует учитывать влияние этой неоднородности [4, 9–11].

Таблица 1 – Оценка коллекторно-дренажного стока канала БГ-МС-13 в ЗАО «Веселовское» Веселовского района Ростовской области. Источник орошения: Донской магистральный канал. Водоприемник: р. З. Маныч

КДС		Концентрация ионов, мг/дм ³								
Шифр поста	Дата отбора	pH	БПК	Взвеш. вещ-ва	Сухой остаток	Cl	SO ₄	Ca	Mg	
309	14.04.14	7,9	2,8	6,8	4,92	170,2	1660,8	268,5	162,5	
	14.04.14	7,8	2,7	7,0	4,74	169,8	1650,2	280,3	159,6	
	14.04.14	7,9	2,8	6,9	4,81	167,0	1690,4	285,4	161,2	
	14.04.14	7,9	2,8	6,8	4,84	172,1	1589,7	270,1	165,0	
309-а	16.04.14	8,0	1,97	7,0	5,95	262,3	864,0	128,3	94,8	
	16.04.14	7,9	2,2	7,0	4,86	270,1	890,6	130,5	90,8	
	16.04.14	8,0	2,3	7,1	6,73	260,7	900,1	131,0	97,5	
	16.04.14	8,0	2,0	7,0	4,64	280,1	863,8	132,0	93,6	
КДС		Концентрация ионов, мг/дм ³								
Шифр поста	Дата отбора	Na	P	Cu	NH ₂	NO ₂	NO ₃	Fe	СПАВ	Нефтепродукты
309	13.04.15	160	0,02	0,001	0,06	0,004	0,63	0,05	0,015	0,018
309-а	15.04.15	345	0,02	0,003	0,07	0,004	0,05	0,06	0,015	0,640

Таблица 2 – Оценка коллекторно-дренажного стока в ЗАО «Нива» Багаевского района Ростовской области. Источник орошения: Донской магистральный канал. Водоприемник: л. Шахаевский

КДС		Концентрация ионов, мг/дм ³								
Шифр поста	Дата отбора	pH	БПК	Взвеш. вещ-ва	Сухой остаток	Cl	SO ₄	Ca	Mg	
250-б	26.11.14	7,8	2,19	10,2	1384	113,4	566,4	176,3	75,4	
250-г	25.11.14	7,6	1,10	3,1	2356	113,4	1305,6	256,5	126,9	
260 р-4	28.11.14	8,0	2,19	5,0	2212	319,1	1056,0	160,3	109,0	
% превышения над фоном		-	50	62	106	35	123	160	117	
КДС		Концентрация ионов, мг/дм ³								
Шифр поста	Дата отбора	Na	P	Cu	NH ₄	NO ₂	NO ₃	Fe	СПАВ	Нефтепродукты
250-б	23.11.15	207	0,15	0,002	0,05	0,052	0,05	0,20	0,017	0,091
250-г	23.11.15	320	0,05	0,002	0,05	0,053	0,05	0,05	0,015	0,038
260 р-4	24.11.15	414	0,12	0,002	0,05	0,057	0,05	0,05	0,015	0,040
% превышения над фоном		78	42	100	0	92	100	100	100	100

Таблица 3 – Оценка коллекторно-дренажного стока в ЗАО «Лиманский» Багаевского района Ростовской области. Источник орошения: Донской магистральный канал. Водоприемник: б. Садковская

КДС		Концентрация ионов, мг/дм ³								
Шифр поста	Дата отбора	pH	БПК	Взвеш. вещ-ва	Сухой остаток	Cl	SO ₄	Ca	Mg	
109-а	19.11.14	7,8	1,97	5,2	7440	978,0	4032,0	456,9	291,8	
109а-7	19.11.14	8,0	1,76	4,8	1180	170,2	537,6	124,2	38,9	
% превышения над фоном		-	112	108	630	575	699	367	746	
КДС		Концентрация ионов, мг/дм ³								
Шифр поста	Дата отбора	Na	P	Cu	NH ₄	NO ₂	NO ₃	Fe	СПАВ	Нефтепродукты
109-а	20.11.15	1656	0,05	0,002	0,05	0,055	0,07	0,08	0,015	0,060
109а-7	20.11.15	230	0,03	0,002	0,05	0,056	0,06	0,05	0,015	0,118
% превышения над фоном		720	166	100	100	98	112	-	100	0,5

По результатам математической обработки данных получены корреляционные связи, описывающие характер загрязнения коллекторно-дренажных стоков. Было установлено, что общую минерализацию опреде-

ляют SO_4^{2-} (в среднем 10 ПДК), Na^+ (3 ПДК), Mg^{2+} (2,5 ПДК); преобладающий тип засоления – сульфатно-натриевый. Поступление загрязнителей в коллекторно-дренажный сток происходит в конце осени и середине весны.

В таблице 4 представлены матрица планирования и результаты проб, отобранных в стоке коллектора БГ-МС-13. Степень влияния каждого из исследуемых факторов на величину отклика может быть выражена процентным отношением удвоенного значения соответствующего коэффициента модели к величине свободного члена.

По результатам обработки экспериментальных данных, представленных в таблице 4, с помощью линейного моделирования получена модель следующего вида:

$$C = 0,501 - 0,07x_1 + 0,059x_2 + 0,175x_3 + 0,545x_4 - 0,02x_5 + 0,14x_6, \quad (1)$$

где x_1 – объем стока, м³/га;

x_2 – набор удобрений, шт.;

x_3 – глубина грунтовых вод, м;

x_4 – дренированность территории, %;

x_5 – температура почвы, °С;

x_6 – время накопления загрязняющих веществ в почве, мес.

Таблица 4 – Матрица планирования эксперимента ДФЭ₂⁶⁻³

Номер пробы	План в кодированных переменных						Минерализация, г/дм ³
	x_1 , м ³ /га	x_2 , удобрения	x_3 , м	x_4 , %	x_5 , t, °С	x_6 , время, мес.	
1	+	-	+	-	-	+	4,92
2	+	-	-	+	+	-	4,74
3	-	+	+	-	+	-	4,81
4	-	+	-	+	-	+	4,84
5	+	+	+	+	-	-	5,95
6	+	+	-	-	+	+	4,86
7	-	-	+	+	+	+	6,73
8	-	-	-	-	-	-	4,64

Примечание – «+» – верхний уровень кодирования; «-» – нижний уровень кодирования.

Анализируя уравнение (1), можно сделать вывод, что на концентрацию загрязнителей в воде водоприемников оказывает влияние дренированность территории x_4 , глубина грунтовых вод x_3 , время накопления загрязняющих веществ в почве x_6 . Следует отметить, что величина оросительной нормы x_1 имеет определяющее значение, если на орошаемом поле реализуется промывной режим. Но так как промывки проводят для мелиорации засоленных почв, а таких на территории обследуемых полей не имеется, то этот фактор будет учитываться при дальнейшем исследовании за рамками данной работы.

Поскольку степень влияния остальных факторов не достигает 10 %, то их следует признать несущественными в принятом диапазоне варьирования и отнести к «шумовому полю», учитываемому ошибкой эксперимента.

Для построения оптимизационной модели поступления загрязняющих веществ в коллекторно-дренажный сток был использован композиционный трехфакторный план второго порядка типа ВВ₃.

Матрица планирования и результаты эксперимента представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Матрица планирования ВВ₃, условия и результаты

Вариант опыта	План Бокса-Бенкина			Натуральное значение факторов			Отклик C , г/дм ³
	x_6	x_4	x_3	Время накопления, мес.	Естественная дренированность	Глубина залегания УГВ, м	
1	+	+	0	12	1,5	1,5	4,92
2	-	+	0	6	1,5	1,5	4,74
3	+	-	0	12	0,5	1,5	4,81
4	-	-	0	6	0,5	1,5	4,84
5	0	0	0	8	1,0	1,5	5,95
6	-	0	-	6	1,0	1,0	4,86
7	+	0	-	12	1,0	1,0	6,73
8	-	0	+	6	1,0	2,0	4,64
9	+	0	+	12	1,0	2,0	4,52
10	0	0	0	8	1,0	1,5	5,54
11	0	+	-	8	1,5	1,0	5,89
12	0	+	+	8	1,5	2,0	5,21
13	0	-	+	8	0,5	2,0	4,27
14	0	-	-	8	0,5	1,0	5,99
15	0	0	0	8	1,0	1,5	6,12

Примечание – «0» – основной уровень кодирования.

Поскольку число факторов больше двух, функция отклика описывает некоторую гиперповерхность в четырехмерном пространстве. Графическое изображение такой гиперповерхности невозможно. Однако определенное представление о ней может дать изображение изоповерхностей (поверхностей с равными значениями функции отклика в каждой своей точке), представляющих собой трехмерные сечения исследуемой поверхности отклика при некоторых фиксированных значениях C .

Обработка экспериментальных данных позволила получить адекватную значимости (на уровне 5 %) квадратичную полиномиальную модель вида:

$$C = 4,57 + 0,076x_3 + 0,067x_4 + 0,079x_6 - 0,005x_3^2 - 0,014x_4^2 + 0,019x_6^2 - 0,04x_3x_4 + 0,38x_3x_6 - 0,41x_4x_6. \quad (2)$$

Для более наглядного представления характера зависимости загрязнения в коллекторно-дренажном стоке от исследуемых факторов в уравнении (2) последовательно стабилизировали на основном (нулевом) уровне по одному из факторов и получили соответствующие локальные модели двумерных сечений:

$$C = 4,57 + 0,067x_4 + 0,079x_6 - 0,014x_4^2 + 0,019x_6^2 - 0,42x_4x_6; \quad (3)$$

$$C = 4,57 + 0,076x_3 + 0,079x_6 - 0,005x_3^2 + 0,019x_6^2 + 0,39x_3x_6; \quad (4)$$

$$C = 4,57 + 0,076x_3 + 0,067x_4 - 0,005x_3^2 - 0,014x_4^2 - 0,03x_3x_4. \quad (5)$$

Анализ трехфакторной квадратичной модели показал, что область максимального поступления веществ на рассматриваемых оросительных системах в коллекторно-дренажный сток находится в следующих пределах: УГВ – 1,5–1,8 м, естественная дренированность – от 1,0 и выше, время накопления загрязняющих веществ – 5–7 месяцев.

С целью выявления адекватности данной модели расчета концентрации загрязняющих веществ в коллекторно-дренажном стоке было проведено гидрохимическое изучение грунтовых вод, поступающих с полей хозяйств Верхнесоленое и Нижнесоленое в лиман Шахаевский по открытым

дренам. При сопоставлении расчетных данных с натурными по средневзвешенным концентрациям зон I и II (рисунок 1) можно сделать вывод, что используемая математическая модель дает достоверные значения.

Результаты расчетов показали, что влияние коллекторно-дренажного стока на качество воды в водоприемнике ($C = 5\text{--}6 \text{ г/дм}^3$) соизмеримо с влиянием диффузных стоков с сельскохозяйственных угодий, сформированных ливневыми осадками, как источников загрязнения ($C = 4\text{--}7 \text{ г/дм}^3$). Однако следует учитывать, что коллекторно-дренажный сток представляет собой точечные источники загрязнения водоемов, а негативная нагрузка от диффузного стока рассредоточена. Это подтверждает актуальность дальнейшего прогнозирования поступления загрязняющих веществ с коллекторно-дренажным стоком при разработке мероприятий по защите водоприемников от загрязнения и разграничения ответственности собственников орошаемых участков.

Проведенные химические анализы коллекторно-дренажных стоков за период 2014–2015 гг. выявили, что между минерализованным коллекторно-дренажным стоком и его ионным составом наблюдается весьма близкая корреляция, которая стремится к линейной зависимости. Изучение литературных источников по данному направлению показало, что об этих корреляционных зависимостях ранее говорили и научные сотрудники ЮжНИИГиМ (Ю. С. Исаев и В. А. Васильченко [12]), которые наравне с другими авторами предупреждают о том, что математические модели, анализирующие такие зависимости, со временем могут в значительной степени варьировать своими параметрическими значениями. На это оказывает влияние нестабильность гидрохимической ситуации, обусловленная тем, что отдельные ионы могут действовать по-разному в разных почвах и подстилающих породах, быть ингибиторами или катализаторами химических процессов. В одних случаях выявляется устойчивость в математическом описании зависимости концентрации основных ионов от минерали-

зации стока в течение ряда лет. А в других – на некоторых элементах ландшафта в контурах нескольких орошаемых полей со временем может происходить изначально обусловленное изменение таких связей. По этой причине следует проводить исследования по выявлению актуальных корреляционных связей, которые должны учитывать гидрохимический режим почв и подстилающих пород в контуре орошаемых полей.

Установленное наличие высокой степени описываемой корреляционной связи для условий орошаемых полей, в границах которых формируется химический состав коллекторно-дренажного стока, следует объяснить тем, что зависимости между минерализацией и солесодержанием отдельных ионов для коллекторно-дренажных стоков с каждого орошаемого поля индивидуальны, так как эти земли находились под техногенным воздействием не один десяток лет. Отсюда следует вывод о том, что совместная обработка данных химических анализов коллекторно-дренажных стоков, сформированных в зоне влияния орошаемого массива, отдельные поля которого находятся в различных гидрогеологических, почвенных и сельскохозяйственных условиях, но рассматриваемых как целостный объект, предопределяет искусственное снижение корреляции между содержанием отдельных ионов и общей минерализацией. В результате не представляется возможным установить вероятный источник поступления загрязнений в коллекторно-дренажный сток.

В дальнейшем разработка мелиоративных режимов должна основываться на системной увязке объемов подачи поливной воды совместно с удержанием уровня грунтовых вод на расчетной глубине, косвенно регулируя, таким образом, формирование загрязненных коллекторно-дренажных стоков.

Выводы

1 Подтверждение результатов расчетных значений концентраций основных ионов фактическими данными свидетельствует о возможности ис-

пользования полученных математических моделей для выявления оптимальных мест устройства постов наблюдений, прогнозирования качества вод водоприемников с учетом различных источников поступления солей в аналогичных гидрогеологических и гидрохимических условиях.

2 Анализ трехфакторной квадратичной модели показал, что область максимального поступления веществ на рассматриваемых оросительных системах в коллекторно-дренажный сток находится в следующих пределах: УГВ – 1,5–1,8 м, естественная дренированность – от 0,9 и выше, время накопления загрязняющих веществ – 7–8 месяцев.

3 Следует отметить, что связи между минерализацией и содержанием отдельных ионов в коллекторно-дренажном стоке с территории каждого орошаемого поля индивидуальны. Таким образом, совместная обработка результатов химических анализов коллекторно-дренажных стоков, находящихся в различных условиях, но рассматриваемых как один объект (взятие проб из общего коллектора или дрены), предполагает искусственное снижение корреляционной зависимости между содержанием отдельных ионов в стоке и его минерализацией.

4 В дальнейшем с ростом штрафных санкций за сброс загрязненных коллекторно-дренажных стоков целесообразно будет предусматривать применение регулируемого дренажа, который позволяет поддерживать определенный уровень грунтовых вод по сезонам года и минимизировать выброс загрязнителей.

Список использованных источников

1 Теория и практика альтернативных видов орошения черноземов юга Европейской территории России / В. Н. Щедрин [и др.]. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 435 с.

2 Ольгаренко, В. И. Основные направления совершенствования эксплуатации гидромелиоративных систем в современных условиях / В. И. Ольгаренко // Актуальные проблемы эксплуатации гидромелиоративных систем. – Новочеркасск, 1998. – С. 25–29.

3 Основные правила и положения эксплуатации мелиоративных систем и сооружений, проведение водоучета и производства эксплуатационных работ / В. Н. Щедрин [и др.]. – Ч. 1. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 395 с.

4 Васильев, С. М. Водопользование на оросительных системах: проблемы и современные подходы к планированию / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, М. А. Ляш-

ков // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – Вып. 55. – С. 49–52.

5 Ясониди, О. Е. Водосбережение при орошении / О. Е. Ясониди. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2004. – 473 с.

6 Безднина, С. Я. Качество воды для орошения. Принципы и методы оценки / С. Я. Безднина. – М.: Изд-во «РОМА», 1997. – 185 с.

7 РД 52.24.622-2001. Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков // Техэксперт 2015 [Электронный ресурс]. – ИС «Техэксперт: Интранет», 2015.

8 ПНД Ф 14.1:24.135-98 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой // Техэксперт 2015 [Электронный ресурс]. – ИС «Техэксперт: Интранет», 2015.

9 Яковлев, С. В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов – М.: АСВ, 2004. – 639 с.

10 Stansfury, M. Irrigation and water quality / M. Stansfury // United States perspective. Trans 14th cong. irrigate. and drainage. – 1998. – 1(13). – P. 585–594.

11 Аладинская, А. Р. Охрана окружающей среды от негативного воздействия хозяйственной деятельности: науч. моногр. / А. Р. Аладинская, Т. Ю. Анопченко, И. А. Афонина. – Новосибирск: СибАК, 2015. – 260 с.

12 Исаев, Ю. С. Допустимая или «критическая» глубина грунтовых вод при непрерывном режиме орошения в степной зоне / Ю. С. Исаев, В. А. Васильченко // Мелиорация и водное хозяйство / Сер. 1. Орошение и оросительные системы: ЭИУЦБ ТИ Минводхоза СССР. – М., 1985. – Вып. 4. – С. 1–5.

References

1 Shchedrin V.N. [et al.]. 2011. *Teoriya i praktika alternativnykh vidov orosheniya chernozemov yuga Evropeiskoy territorii Rossii* [Theory and practice of alternative types of chernozems irrigation in the south of European Russia]. Novocherkassk, Lick Publ., 435 p. (In Russian).

2 Olgarenko V.I. 1998. *Osnovnye napravleniya sovershenstvovaniya ekspluatatsii gidromeliorativnykh sistem v sovremennykh usloviyakh* [Main directions of irrigation systems operation improvement in modern conditions]. *Aktualnye problemy ekspluatatsii gidromeliorativnykh sistem* [Contemporary Issues of Hydroreclamation Systems Operation]. Novocherkassk, pp. 25-29. (In Russian).

3 Shchedrin V.N. [et al.]. 2013. *Osnovnye pravila i polozheniya ekspluatatsii meliorativnykh sistem i sooruzheniy, provedenie vodoucheta i proizvodstva ekspluatatsionnykh rabot* [Fundamentals and operating positions of reclamation systems and facilities, carrying out water accounting and maintenance work]. p. 1, Novocherkassk, Helicon Publ., 395 p. (In Russian).

4 Vasiliev S.M., Domashenko Yu.Ye., Lyashkov M.A. 2014. *Vodopolzovanie na orositelnykh sistemakh: problemy i sovremennye podkhody k planirovaniyu* [Water use in irrigation systems: problems and current approaches to planning]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya: sbornik statey FGBNU "RosNIIPM"* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture: collec. of articles]. Novocherkassk: RosNIIPM, vol. 55, pp. 49-52. (In Russian).

5 Yasonidi O.Ye. 2004. *Vodosnerezhenie pri oroshenii* [Water saving in irrigation]. Novocherkassk, SRSTU (NPI) "Nabla" Publ., 473 p. (In Russian).

6 Bezdнина S.Ya. 1997. *Kachestvo vody dlya orosheniya. Printsipy i metody otsenki*

[Quality of water for irrigation. Principles and methods of assessment]. Moscow, “Roman” Publ., 185 p. (In Russian).

7 52.24.622-2001 RD. *Metodicheskie ukazaniya. Provedenie raschetov fonovykh kontsentratsiy khimicheskikh veshchestv v vode vodotokov* [Methodical instructions. Calculations of background concentrations of chemicals in the water streams]. Techexpert 2015 [Electronic resource]. IS “Tehepser: Intranet”, 2015. (In Russian).

8 PND F 14.1: 24.135-98 *Kolichestvennyy khimicheskiy analiz vod. Metodika vypolneniya izmereniy massovoy kontsentratsii elementov v probakh pitevoy, prirodnykh, stochnykh vod i atmofernykh osadkov metodom atomno-emissionnoy spektrometrii s induktivno-svyazannoy plazmoy* [Quantitative chemical analysis of water. Methods of measurement of the mass concentration of elements in samples of drinking, natural, waste water and precipitation by atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma]. Techexpert 2015 [Electronic resource]. IS “Tehepser: Intranet”, 2015. (In Russian).

9 Yakovlev S.V., Voronov V. 2004. *Vodootvedenie i ochistka stochnykh vod: uchebnik dlya vyzov* [Water discharge and wastewater treatment: a textbook for high schools]. Moscow, ASV Publ., 639 p. (In Russian).

10 Stansfury M. 1998. Irrigation and water quality. M. Stansfury. United States perspective. Trans 14th cong. irrigate. and drainage., 1(13), pp. 585-594. (In English).

11 Aladinskaya A.R., Anopchenko T. Yu., Afonin I.A. 2015. *Okhrana okruzhayushchey sredy ot negativnogo vozdeystviya khozyaistvennoy deyatel'nosti: nauch. monogr* [Environmental protection from the negative impacts of economic activity: sc. monograph]. Novosibirsk, Shiba K Publ., 260 p. (In Russian).

12 Isaev Yu.S., Vasilchenko V.A. 1985. *Dopustimaya ili kriticheskaya glubina gruntovykh vod pri nepreryvnom rezhime orosheniya v stepnoy zone* [Permissible or “critical” depth of groundwater irrigation in continuous mode in the steppe zone]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo* [Irrigation and Water Industry] Ser. 1. *Oroshenie i orositelnye sistemy* [Irrigation and irrigation systems: Water Management]. Moscow, Vol. TI EIUTSB Minvodkhoz, issue 4, pp. 1-5. (In Russian).

Домашенко Юлия Евгеньевна

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: начальник отдела

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: domachenko_u@list.ru

Domashenko Yuliya Yevgenyevna

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Head of the Department

Affiliation: Russian Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: domachenko_u@list.ru

Васильев Сергей Михайлович

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: заместитель директора по науке

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Vasilyev Sergey Mikhailovich

Degree: Doctor of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Deputy Director of Science

Affiliation: Russian Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru