

**ПРОБЛЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
ГРУНТОВЫХ ВОД НА РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ
И КОНЦЕПЦИЯ ЕЕ РЕШЕНИЯ**

Сафронова Т.И. – к. т. н., доцент

Луценко Е.В. – д. э. н., к. т. н., профессор

Кубанский государственный аграрный университет

В статье поставлена проблема управления степенью минерализации и глубиной залегания грунтовых вод на рисовых оросительных системах с целью повышения урожайности и качества риса. Показана ее актуальность, сформулирована идея решения. В работе исследуются характеристики исходных данных и на этой основе выдвигаются требования к математической модели, освещены традиционные пути и приведена концепция решения проблемы.

1. Проблема исследования, ее актуальность и идея решения

Краснодарский край является одним из крупнейших районов рисосеяния в нашей стране. В зоне Приазовских плавней под рис осваиваются заболоченные и засоленные земли. Создание инженерных рисовых систем на таких землях – наиболее рациональный путь их освоения. Однако почвенно-мелиоративная обстановка в этом районе очень сложная. Она характеризуется подтоплением и заболачиванием значительных площадей, вторичным засолением почв, а также загрязнением вод дренажно-сбросными стоками. Развитие процессов заболачивания и засоления почв в значительной мере определяется глубиной залегания и химическим составом грунтовых вод.

В связи с этим актуальны следующие задачи:

1) изучение закономерностей уровневого и гидрохимического режима грунтовых вод в условиях его нарушения мелиоративной деятельностью человека в течение длительного периода времени;

2) анализ и обобщение гидрогеолого-мелиоративной информации с целью оценки фактического мелиоративного состояния рисовых систем, определение степени мелиоративного воздействия на природную среду, выявление и изучение силы и направления влияния факторов гидрогеолого-мелиоративной обстановки.

В данной работе минерализация и уровень грунтовых вод (МиУГВ) рассматриваются с точки зрения, принятой в теории и практике автоматизированных систем управления (АСУ). С этой позиции МиУГВ *является объектом управления*, поведение и будущее состояние которого определяется рядом *факторов*.

Влияние факторов различной природы на МиУГВ изучено пока недостаточно для того, чтобы осуществлять управление на уровне современных требований к его качеству. Соответственно, не выработаны и процедуры принятия решений по управлению МиУГВ, а также отсутствует программный инструментарий, реализующий эти процедуры.

В связи с этим возникает *проблема изучения влияния факторов различной природы на МиУГВ*.

Для решения этой проблемы необходимо:

– выявить и классифицировать различные природные, антропогенные и технологические факторы;

– количественно изучить силу и направление влияния этих факторов на МиУГВ.

Актуальность данной проблемы определяется тем, что поддержание значений МиУГВ в рациональных (нормативных) границах является одной из главных предпосылок получения *высоких урожаев и качества риса*.

Однако исследование МиУГВ не может быть осуществлено на основе проведения каких-либо экспериментов с реальным объектом управления, т.е. с оросительной системой. Поэтому предлагается *идея* сделать это путем исследования поведения МиУГВ на основе ретроспективных данных, накопленных в результате *мониторинга* в условиях реальной эксплуатации оросительной системы в течение определенного длительного периода. На основе этих данных предлагается осуществить синтез математической модели МиУГВ и уже эту модель исследовать с целью решения сформулированной проблемы. Естественно, результаты исследования модели будут считаться нами исследованием самого моделируемого объекта только в случае подтверждения адекватности модели, т.е. ее успешной верификации. Для реализации предложенной идеи прежде всего необходимо выбрать *тип модели*, обеспечивающей комплексную обработку имеющихся эмпирических исходных данных.

2. Исследование характеристик источников исходных данных

2.1. Источники информации

Исследование почвенно-мелиоративной обстановки было проведено на Петровско-Анастасиевской оросительной системе (ПАОС) в АО "Черноерковское" Славянского района Краснодарского края.

Исходные данные о работе рисовой оросительной системы в этом хозяйстве взяты из архивных годовых отчетов Кубаньмелиоводхоза по ПАОС и мелиоративных кадастров Кубанского гидрогеолого-мелиоративного государственного учреждения.

Если проанализировать структуру приводящихся в этих архивах таблиц, то можно сделать выводы:

– в различные годы данные собирались по различным системам показателей, лишь незначительная часть которых представлена за все годы;

– архивные данные представлены в различных разрезах и не всегда могут быть приведены к одной стандартной типовой форме, обеспечивающей их сопоставимый анализ.

Нами была отобрана система показателей, по которой данные представлены за все годы и в форме, которая может быть приведена к сопоставимому виду. В результате удалось в одной комплексной таблице (см. табл.) представить данные десятков разрозненных таблиц за период с 1983 по 2003 годы.

**Исходные данные по работе оросительной системы АО
"Черноерковское" Паос за 1983–2003 годы**

Наименование		1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004		
КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ШКАЛЫ																									
1	Площади орошаемых земель (га) с глубиной заделки УГВ < 1,0 (м)		75					70	162				75	75	75		75								
2	Площади орошаемых земель (га) с глубиной заделки УГВ 1,0 - 1,5 (м)	391	125	662	600	1319	655	1030	1004	1004			894	1446	1386		1133	1133		1153	801	976	1016		
3	Площади орошаемых земель (га) с глубиной заделки УГВ 1,5 - 2,0 (м)	25	450	1950	1642	1024	3465	3000	3945	4220			4202	3700	3760		3916	4013		4068	4420	4245	4205		
4	Площади орошаемых земель (га) с глубиной заделки УГВ 2,0 - 3,0 (м)	4669	4298	2436	2650	2677	795	1043	275			50					97								
5	Площади орошаемых земель (га) с глубиной заделки УГВ 3,0 - 5,0 (м)	316	625	525	662	230	250																		
6	Площади орошаемых земель (га) с глубиной заделки УГВ > 5,0 (м)																								
7	Площади орошаемых земель (га) с минерализацией грунтовых вод < 1,0 (г/л)																								
8	Площади орошаемых земель (га) с минерализацией грунтовых вод 1,0 - 3,0 (г/л)	715	250		695	147	3115	1952	2298	1625		1625	1625	2155			1625	1625		1668	1668	1668	1668		
9	Площади орошаемых земель (га) с минерализацией грунтовых вод > 3,0 (г/л)	4876	5323	5573	4869	5103	2120	3283	3026	3599		3596	3596	3066			3596	3596		3553	3553	3553	3553		
10	Урожайность риса по АО "Черновиковское" (ц/га)	40,6	41,5	39,9	51,2	46,8	52,7	52,2	47,9	35,8		40,2			37,4	32,6	39,0	36,3		39,5	36,7	41,6	36,0		
ОПИСАТЕЛЬНЫЕ ШКАЛЫ																									
Природные факторы																									
1	Средняя месячная температура воздуха (С) за вегетацию по Славянской метеостанции - V мес.	18,2	17,9	18,6	11,8	16,3	15,2	16,5	16,7	15,3			15,9	15,4	16,7		17,7	17,7	14,2	15,7	15,2	16,5	19,4		
2	Средняя месячная температура воздуха (С) за вегетацию по Славянской метеостанции - VI мес.	19,8	22,1	19,2	20,9	20,3	20,5	21,3	19,9	21,7			19,4	18,7	22,5		20,8	22,7	22,6	20,1	19,7	20,5	19,8		
3	Средняя месячная температура воздуха (С) за вегетацию по Славянской метеостанции - VII мес.	23,1	22,4	20,4	22,6	23,0	27,4	22,2	23,4	24,8			21,7	22,9	23,1		22,2	24,3	25,8	24,2	26,9	25,7	22,1		
4	Средняя месячная температура воздуха (С) за вегетацию по Славянской метеостанции - VIII мес.	21,0	19,7	23,8	23,7	20,2	20,2	23,7	21,0	22,4			22,3	22,5	22,0		21,9	23,5	23,4	23,8	24,3	21,5	22,6		
5	Средняя месячная температура воздуха (С) за вегетацию по Славянской метеостанции - IX мес.	17,0	18,6	15,3	17,5	15,7	15,7	17,9	16,8	16,0			15,8	16,0	17,9		14,2	18,1	17,7	17,0	18,3	19,2	16,3		
6	Выпадение месячные осадки (мм) за вегетацию по Славянской метеостанции - V мес.	17,9	8,5	18,8	62,0	43,0	42,0	81,0	60,4	80,6			62,7	75,0	56,2		60,7	88,1	33,2	25,9	75,1	18,9	0,0		
7	Выпадение месячные осадки (мм) за вегетацию по Славянской метеостанции - VI мес.	36,0	22,8	44,8	98,0	50,3	50,0	82,0	68,9	94,0			73,0	41,0	105,1		50,0	60,0	42,1	81,3	9,1	121,6	48,9		
8	Выпадение месячные осадки (мм) за вегетацию по Славянской метеостанции - VII мес.	92,1	17,9	56,7	18,0	83,2	83,0	94,0	7,5	30,2			23,9	19,0	84,9		2,0	131,0	23,6	56,4	20,4	14,6	36,7	135,1	
9	Выпадение месячные осадки (мм) за вегетацию по Славянской метеостанции - VIII мес.	98,1	121,3	59,0	4,0	16,8	17,0	0,0	47,0	36,8			14,4	1,0	40,8		221,0	104,0	0,0	92,7	23,3	74,5	121,0	50,5	
10	Выпадение месячные осадки (мм) за вегетацию по Славянской метеостанции - IX мес.	3,6	0,0	74,0	17,0	40,0	43,0	59,0	62,3	71,8			0,0	29,8	0,0		9,0	20,4	63,0	78,5	3,7	39,3	62,2	74,5	77,0
Агрополевные факторы																									
11	Общая площадь орошаемых с/х угодий АО "Черновиковское" (га)	5691	5573	5573	5574	5250	5235	5236	5224	5224		0	5221	5221	5221		5221	5221	5221	5221	5221	5221	5221		
12	Посевная площадь риса (га)	3460	3450	3450	3450	2700	2700	2700	2700	2700		0	2615	2673	2573		2650	0	2411	2470	2426	2261	2596	2700	
13	Суммарный забор воды из источников орошения на с/х угодия АО "Черновиковское" (млн м куб) - план	0,00	87,40	95,20	101,60	96,63	77,33	75,86	95,56	87,56		90,64	0,00	0,00	78,35		84,27	0,00	87,34	86,72	62,93	78,80	85,16	69,01	
14	Суммарный забор воды из источников орошения на с/х угодия АО "Черновиковское" (млн м куб) - факт	0,00	96,90	93,30	101,30	98,49	71,23	75,89	94,53	83,71		86,80	0,00	0,00	78,08		83,83	0,00	79,58	88,31	83,35	78,95	84,43	67,80	
15	Подача воды на орошение (млн м куб) - план	75,60	73,30	76,22	77,43				80,56	73,38		73,05	68,43	52,51			62,02		64,33	63,18	60,63	57,28	62,25	64,61	
16	Подача воды на орошение (млн м куб) - факт	72,90	72,90	76,84	78,79				81,71	70,32		73,11	70,32	58,34			64,96		65,99	65,19	60,63	57,15	61,62	63,76	
17	Подача воды на полив риса (млн м куб) - план	74,50	72,10	71,30	73,21				74,99	65,48		64,99	59,18	47,08			52,65		59,83	59,04	56,51	53,69	59,13	61,27	
18	Подача воды на полив риса (млн м куб) - факт	72,10	72,70	69,90	73,16				75,39	37,79		69,99	64,36	54,24			52,86		54,43	61,34	55,53	53,56	59,25	60,47	
19	Подача повторных вод (млн м куб) - план	11,00	2,00	15,83	16,79	16,03	31,52	17,02	15,26	15,76		16,40	9,26	7,99			12,42		14,61	11,31	14,43	13,76	13,30	13,38	
20	Подача повторных вод (млн м куб) - факт	14,20	2,00	17,16	21,29	21,79	31,52	29,00	32,53	14,39		20,40	20,82	16,07			14,94		17,55	15,32	13,10	14,30	50,38	33,91	
21	Сброс с рисовых площадей за пределы системы (тыс. куб. м) - план	55,70	51,90	49,90	44,40	42,02	46,10		41,38	37,79		40,42	53,82	47,39											
22	Сброс с рисовых площадей за пределы системы (тыс. куб. м) - факт	60,90	51,80	46,80	37,85	41,55	40,18		41,62	36,67		40,39	53,10	40,61			1839	1858		1985	1993	2000	2027	2032	
23	Поливная норма в точке водовыдела (м. куб/га) - план																								
24	Поливная норма в точке водовыдела (м. куб/га) - факт																								
25	Оросительная норма (тыс. м куб/га) - план																								
26	Оросительная норма (тыс. м куб/га) - факт																								
27	Оросительная норма риса (тыс. м куб/га) - план																								
28	Оросительная норма риса (тыс. м куб/га) - факт																								
29	Среднемесячные расходы воды канала СМС-I (м. куб/с) - I	1,21	1,69	3,25	3,39	2,70	0,73	3,61	4,38	2,23		2,19	1,46	2,84		3,04	1,83		4,78	0,80		0,14	3,11		
30	Среднемесячные расходы воды канала СМС-I (м. куб/с) - II	0,89	1,76	2,30	2,27	3,04	0,75	2,12	3,10	0,77		3,08	1,03	1,54		1,38	0,60		6,44	2,82		0,29	3,02	2,36	
31	Среднемесячные расходы воды канала СМС-I (м. куб/с) - III	1,20	1,22	1,85	4,56	2,43	4,11	1,57	1,35	3,20		2,26	0,45	1,12		1,85	0,22		4,55	2,08		0,70	1,23	1,87	
32	Среднемесячные расходы воды канала СМС-I (м. куб/с) - IV	1,26	0,31	0,23	1,43	1,80	1,15	0,60	2,45	1,42		1,12	0,81	0,80		2,07	0,68		1,37	0,94		0,26	1,22	0,60	
33	Среднемесячные расходы воды канала СМС-I (м. куб/с) - V	10,48	8,09	2,30	7,00	7,16	7,86	8,46	15,32	4,86		5,03	5,10	6,34		3,04	8,47		4,32	2,09		5,44	5,61	3,68	
34	Среднемесячные расходы воды канала СМС-I (м. куб/с) - VI	11,73	15,10	9,49	7,63	15,80	9,09	9,16	40,61	11,13		13,04	13,53	13,02		13,25	9,48		12,11	10,18		10,28	12,21	9,86	
35	Среднемесячные расходы воды канала СМС-I (м. куб/с) - VII	11,77	13,86	9,90	7,94	12,75	9,74	9,64	29,89	11,05		12,65	9,96	8,18		12,48	8,37		7,96	9,44		9,04	10,27	7,34	
36	Среднемесячные расходы воды канала СМС-I (м. куб/с) - VIII	13,62	12,16	10,07	8,20	13,78	9,48	6,57	27,46	11,53		10,95	9,15	7,95		9,73	11,10		6,35	10,19		10,37	10,25	6,29	
37	Среднемесячные расходы воды канала СМС-I (м. куб/с) - IX	4,15	4,46	3,78	7,81	11,89	7,63	8,17	32,10	11,33		10,43	10,70	7,74		10,30	10,11		4,60	5,15		7,52	4,76	4,38	
38	Среднемесячные расходы воды канала СМС-I (м. куб/с) - X	1,17	0,33	1,30	0,80	1,69	0,64	1,53	4,34	1,09		1,31	1,44	0,63		1,33	1,90		0,48	0,66		0,57	0,77	1,23	
39	Среднемесячные расходы воды канала СМС-I (м. куб/с) - XI	1,86	0,50	1,72	0,56	1,74	3,68	2,16	4,38	0,65		2,76	1,44	1,20		2,33	1,15		0,49	0,78		0,22	3,00	1,09	
40	Среднемесячные расходы воды канала СМС-I (м. куб/с) - XII	1,49	0,93	1,23	0,52	2,13	5,67	2,26	4,74	1,30		2,14	1,24	2,06		2,13	0,00		1,69	1,03		1,91	0,69	2,18	
41	Среднемесячные уровни воды канала СМС-I (м) - I	-0,06	0,12	0,05	-0,09	-0,16	0,17	-0,13	-0,02	-0,02		0,16	0,19	0,18		-0,03			0,29	-0,01		-0,18	0,44	0,17	
42	Среднемесячные уровни воды канала СМС-I (м) - II	-0,07	0,03	-0,04	0,00	-0,19	0,04	-0,18	-0,23	0,14		-0,17	0,01	-0,02		-0,08			0,33	0,09		-0,19	0,24	0,07	
43	Среднемесячные уровни воды канала СМС-I (м) - III	-0,12	-0,03	0,05	-0,06	0,23	-0,11	-0,20	0,14	0,00		-0,19	-0,06	-0,08		-0,18			0,29	0,16		-0,07	0,03	0,01	
44	Среднемесячные уровни воды канала СМС-I (м) - IV	-0,24	-0,26	-0,12	-0,14	-0,12	-0,29	-0,23	-0,12	-0,18		-0,24	-0,07	0,19		-0,17			0,14	0,07		-0,02	0,01	-0,12	
45	Среднемесячные уровни воды канала СМС-I (м) - V	0,51	0,01	0,34	0,28	0,63	0,69	0,28	0,27	0,32		0,15	0,46	0,15		0,37			0,24	0,49		0,36	0,25	0,16	
46	Среднемесячные уровни воды канала СМС-I (м) - VI	1,07	0,65	0,39	0,95	0,76	0,77	1,02	0,88	1,18		1,00	0,96	0,68		0,54			0,74	0,66		0,74	0,78	0,64	
47	Среднемесячные уровни воды канала СМС-I (м) - VII	1,01	0,69	0,44	0,74	0,82	0,81	0,93	0,89	1,14															

2.2. Характеристика качества исходной информации

Даже беглого взгляда на приведенную таблицу достаточно, чтобы обнаружить *значительную неполноту*, т.е. *фрагментарность* исходных данных, т.е. по ряду показателей отсутствуют данные за некоторые годы:

1) за 1983 год отсутствуют данные по 28 показателям из 88; за 1992 – по 30; за 1997 – по 59; за 2000 – по 23, и т.д.;

2) по показателю 1 отсутствуют данные за 13 лет из 21; по 4-му – за 11; 5-му – за 15; с 23-го по 26-й, 43-му и 52-му – по 14; по 27-му, 28-му, 41-му и 42-му – по 12, 44-му, 50-му, 51-му и 70-му – по 17, и т.д.;

3) данные представлены в 13 видах единиц измерений: га, м, г/л, ц/га, °С, мм, млн м куб., тыс.куб.м, м куб/га, тыс.м куб/га, м куб/с, мг/л, км;

4) размерность исходных данных составляет 98 числовых показателей.

2.3. Требования к математической модели

Анализ характеристик исходных данных, отражающих динамику работы рисовой оросительной системы АО "Черноерковское" за 21 год, показывает, что математическая модель должна обеспечивать:

– непараметрический анализ разнородных по своей природе факторов на основе неполных (фрагментированных) и зашумленных эмпирических данных большой размерности;

– выявление и исследование в сопоставимой форме причинно-следственных взаимосвязей между факторами окружающей среды и управления различной природы, с одной стороны, и результирующими параметрами работы рисовой оросительной системы, с другой стороны.

3. Традиционные пути решения проблемы

Академический обзор математических методов, применимых в *количественной гидроэкологии*, в том числе для исследования качества грунтовых вод, приведен в фундаментальной работе [1].

Статистические модели также не удовлетворяют сформулированным требованиям, т.к.:

- имеют жесткие ограничения по количеству исследуемых факторов (как правило, не более 10), тогда как в исследуемой модели факторов должно быть, по крайней мере, на порядок больше;

- требуют информации о результатах действия *всех сочетаний исследуемых факторов ("повторности")*, что в исследуемой предметной области *практически невыполнимо* даже при нескольких факторах.

Необходимо подчеркнуть, что восполнить отсутствующие данные из опыта не представляется возможным, так как объект исследования – рисовая оросительная система – принципиально не допускает какого-либо экспериментирования. Восстановление информации путем интерполяции также некорректно, т.к. во многих строках и столбцах корреляционной матрицы имеется гораздо больше одного пропуска данных (см. табл.).

Кроме того, статистические модели большой размерности очень сложно содержательно интерпретировать, для этого требуется большой труд квалифицированных аналитиков.

Таким образом, можно сделать *вывод*, что для моделирования такого сложного и малоисследованного объекта, каким является поливная система, применение традиционных математических моделей является проблематичным.

4. Концепция решения проблемы

По мнению авторов, решение поставленной проблемы может быть получено путем применения системно-когнитивного анализа (СК-анализ) [2] –

нового перспективного математического метода системного анализа, основанного на теории информации, системном анализе и когнитивном моделировании. Весьма существенно, что для метода СК-анализа разработаны и методика численных расчетов, и соответствующий реализующий ее программный инструментарий [3], а также технология и методика их применения. Они прошли успешную апробацию при решении ряда задач в различных предметных областях. Метод является непараметрическим, позволяет сопоставимо обрабатывать тысячи градаций факторов и будущих состояний объекта управления при неполных (фрагментированных), зашумленных данных различной природы.

Предлагаемая концепция решения проблемы состоит в следующем:

- **данные мониторинга** МиУГВ по рисовой оросительной системе за достаточно длительный период с 1983 по 2003 годы представляются в сопоставимом виде в единой стандартной форме;

- путем **анализа** данных мониторинга выявляются причинно-следственные зависимости в предметной области, т.е. генерируется **информация** о силе и направлении влияния различных факторов на МиУГВ;

- эта информация о влиянии факторов используется для **прогнозирования** МиУГВ в условиях предположительного применения тех или иных технологических воздействий на поливную систему;

- состояния МиУГВ классифицируются как **целевые** и **нежелательные**, осуществляется **управление** (поддержка принятия управленческих решений) рисовой оросительной системой за счет использования **знаний** о влиянии технологических факторов на МиУГВ.

Список литературы

1. Шитиков В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с. –

<http://www.tolcom.ru/kiril/Library/Book1/content0/content0.htm#Pred>.

2. Луценко Е.В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ в управлении активными объектами (системная теория информации и ее применение в исследовании экономических, социально-психологических, технологических и организационно-технических систем): Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ, 2002. – 605 с.

3. Пат. № 2003610986 РФ. Универсальная когнитивная аналитическая система "ЭЙДОС" / Е.В. Луценко (Россия); Заяв. № 2003610510 РФ. Опубл. от 22.04.2003. – 50 с.

4. Сафронова Т.И. Гидрогеологическое обоснование мероприятий по охране подземных вод // Труды Российской ассоциации "Женщины-математики". Воронеж, 2002. – С. 92–95.