

УДК 631.47:519.25

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАСОЛЕННОСТИ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ****Кутлусурина Г.В., Токарева А.А.***ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», Астрахань, e-mail: kivragtu@rambler.ru*

Актуальность работы обусловлена отсутствием систематических исследований почв и режимных наблюдений грунтовых вод в условиях регионального изменения климата, а также вступившей в действие областной программой субсидирования затрат на мелиорацию и Федеральными программами до 2020 г. по развитию мелиорации и водного хозяйства. Необходимость исследований обусловлена ухудшением состояния не только сельскохозяйственных земель, но и водотоков, рыбных и других хозяйств, вызванных глобальными изменениями климата, антропогенными и техногенными нагрузками. В начале нынешнего века удельный вес орошаемых сельскохозяйственных земель Астраханской области в структуре сельхозугодий во всех категориях землепользователей составлял около 7%. Хорошее мелиоративное состояние имели 62,3 тыс. га земель (27,3%), удовлетворительное – 108,9 тыс. га (47,9%), неудовлетворительное – 56,5 тыс. га (24,8%). За последнее десятилетие эти показатели изменились незначительно. Причин сложившегося мелиоративного состояния несколько: низкий технический уровень построенных систем; сокращение объемов ремонтных работ; влияние колебаний уровня Каспийского моря на орошаемые участки, расположенные в нижней части дельты Волги. Опираясь на различные виды районирования в пределах Прикаспийской низменности, Нижнего Поволжья и областей этого региона, выполнены исследования почв с орошаемых участков Астраханской области на засоленность. Подтверждена более высокая засоленность правобережной части области по сравнению с левобережной территорией и увеличение токсичных солей в почвах с глубиной. Методом корреляционного анализа рассчитаны и представлены графически зависимости изменения содержания солей от глубины почвенного разреза. Результаты математической обработки подтвердили лабораторные данные, и они могут быть использованы при подборе выращиваемых культур, промывных норм и других мелиоративных мероприятий.

**Ключевые слова:** засоленность почв, районирование территории, корреляционный анализ**ANALITICAL ESTIMATION OF ASTRAKHAN REGION IRRIGATED LANDS SALINIZATION****Kutlusrina G.V., Tokareva A.A.***Astrakhan State Technical University, Astrakhan, e-mail: kivragtu@rambler.ru*

The urgency of the work is due to the lack of systematic study of lands and ground soils regime observations in the conditions of the region climate changes, and also the regional program of subsidies the costs for the melioration and Federal programs till 2020 on the development of the melioration and water management which entered into force. The need for research is determined by deterioration of agricultural land, streams, fisheries and other farms, caused by global climate change, anthropogenic and environmental footprint. At the beginning of this century, the proportion of irrigated land in the structure of Astrakhan region agricultural lands in all categories of land users was about 7%. 62,3 thousand hectares (27,3%) were in good, 108,9 thousand hectares (47,9%) in satisfactory and 56,5 thousand hectares (24,8%) in unsatisfactory ameliorative condition. Over the past decade, these figures have changed slightly. Learning the different kinds of zoning in the limits of Pre-Caspian lowland, the low Volga regions, and the study of soils from the irrigated zones of Astrakhan region on the subject of salinity was made. It was confirmed that the right part of the region is more saline than the left one, and the toxic salts are held in the deep soils. With a help of correlation analysis the dependence of changes of the salt content from the soil cut depth was presented graphically. The results of the mathematical processing confirmed the laboratory work and they can be used when selecting crops, flushing rules and other melioration works.

**Keywords:** soil salinity, territory zoning, correlation analysis

Почвенный покров Астраханской области, характеризующийся большим разнообразием, комплексностью, высокой динамичностью формирования на отдельных участках, нуждается в улучшении его состояния, в том числе снижении засоленности. Засоленность почв на отдельных площадях усиливается, что вызвано уменьшением водообеспеченности области, увеличением засушливости на фоне низкой дренированности территории или практического её отсутствия, нерациональным проведением поливных и дренажных мероприятий, дру-

гими причинами [9, 10]. Исходя из множества факторов, провоцирующих процессы засоления почв, исследователи разных лет обобщили те или иные признаки, зависящие от ландшафтных особенностей территории, рельефообразования, развития гидрологической сети и т.д. (Н.Н. Большев, С.А. Владыченский, В.В. Гладких, А.Г. Доскач, Д.М. Кац). Выполненные с этой целью различные виды районирования принимались для дальнейших рекомендаций и мероприятий по исследованию и улучшению состояния почв [1, 3, 6, 8].

Таблица 1

Содержание солей по данным анализа водной вытяжки

Подпровинция	Административный район исследований	№ выработки	Глубина, см	Сумма солей, %	Ионы: числитель – %, знаменатель – мг.экв./100 г						Сумма токсичных солей, %
					HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
А	Ахтубинский, о. Петриков	1	0–16	0,17	0,040	0,020	0,050	0,020	0,010	0,020	0,090
					0,65	0,70	1,13	1,00	0,60	0,88	
В	Харабалинский, пойменная терраса р. Ахтуба	2	0–18	0,142	0,034	0,009	0,060	0,020	0,006	0,013	0,074
					0,55	0,25	1,25	1,00	0,50	0,55	
		3	0–11	0,058	0,024	0,015	0,014	0,006	0,004	0,005	0,038
					0,39	0,14	0,30	0,30	0,33	0,20	
		4	0–12	0,063	0,024	0,015	0,019	0,008	0,003	0,006	0,036
					0,39	0,14	0,40	0,40	0,25	0,28	
		5	0–20	0,155	0,031	0,009	0,072	0,025	0,006	0,012	0,070
					0,50	0,25	1,50	1,25	0,49	0,51	
		6	0–30	0,173	0,031	0,011	0,084	0,025	0,009	0,013	0,080
					0,50	0,30	1,75	1,25	0,74	0,56	
7	0–10	0,082	0,037	0,004	0,021	0,077	0,006	0,007	0,058		
			0,61	0,11	0,44	0,35	0,49	0,32			
8	0–22	1,085	0,024	0,018	0,732	0,235	0,027	0,049	0,280		
			0,39	0,51	15,25	11,75	2,25	2,15			
			0,027	0,018	0,722	0,229	0,030	0,047	0,290		
			0,44	0,51	15,04	11,45	2,50	2,04			
			0,030	0,062	0,804	0,207	0,076	0,054	0,520		
			0,49	1,77	16,75	10,35	6,33	2,33			
9	0–25	1,163	0,027	0,016	0,792	0,225	0,042	0,061	0,390		
			0,44	0,46	16,50	11,25	3,50	2,65			
			0,028	0,032	0,738	0,218	0,040	0,058	0,370		
			0,46	0,91	15,37	10,90	3,33	2,51			
Г	50–100	1,263	0,032	0,066	0,815	0,221	0,068	0,061	0,500		
			0,52	1,88	16,98	11,05	5,67	2,66			
Г	Приволжский, с. Началово участок «Мансуровский»	51–100	1,233	0,030	0,062	0,804	0,207	0,076	0,054	0,520	
				0,49	1,77	16,75	10,35	6,33	2,33		
				0,027	0,016	0,792	0,225	0,042	0,061	0,390	
				0,44	0,46	16,50	11,25	3,50	2,65		
				0,028	0,032	0,738	0,218	0,040	0,058	0,370	
				0,46	0,91	15,37	10,90	3,33	2,51		

Окончание табл. 1											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
А	Черноярский, с. Соленое Займище	10	0-28	1,084	0,024	0,012	0,740	0,228	0,032	0,048	0,300
			28-53	1,122	0,026	0,028	0,751	0,217	0,042	0,058	0,380
			53-100	1,434	0,031	0,072	0,936	0,244	0,078	0,073	0,590
		11	0-8	0,147	0,058	0,007	0,043	0,010	0,007	0,022	0,113
			8-22	0,294	0,049	0,104	0,043	0,010	0,009	0,079	0,260
			22-40	0,941	0,024	0,480	0,106	0,054	0,035	0,242	0,791
		12	0-15	0,079	0,030	0,009	0,019	0,008	0,005	0,008	0,052
			15-30	0,116	0,040	0,007	0,038	0,010	0,006	0,015	0,082
			20-35	0,135	0,043	0,007	0,048	0,010	0,006	0,021	0,101
		Б	Еногаевский	14	0-15	1,89	0,020	0,290	0,50	0,270	0,050
0-20	0,085				0,033	0,005	0,024	0,012	0,004	0,007	0,051
0-15	0,31				0,060	0,070	0,005	0,007	0,020	0,148	0,162
Г	Наримановский с. Волжское	15	0-15	0,611	0,034	0,039	0,348	0,060	0,006	0,125	0,407
			0-15	0,543	0,020	0,052	0,311	0,056	0,024	0,080	0,353
			0-15	0,543	0,020	0,052	0,311	0,056	0,024	0,080	0,353
Д	Лиманский	16	0-15	0,543	0,020	0,052	0,311	0,056	0,024	0,080	0,353
			0-15	0,543	0,020	0,052	0,311	0,056	0,024	0,080	0,353
			0-15	0,543	0,020	0,052	0,311	0,056	0,024	0,080	0,353
17	17	0-15	0,543	0,020	0,052	0,311	0,056	0,024	0,080	0,353	
		0-15	0,543	0,020	0,052	0,311	0,056	0,024	0,080	0,353	
		0-15	0,543	0,020	0,052	0,311	0,056	0,024	0,080	0,353	

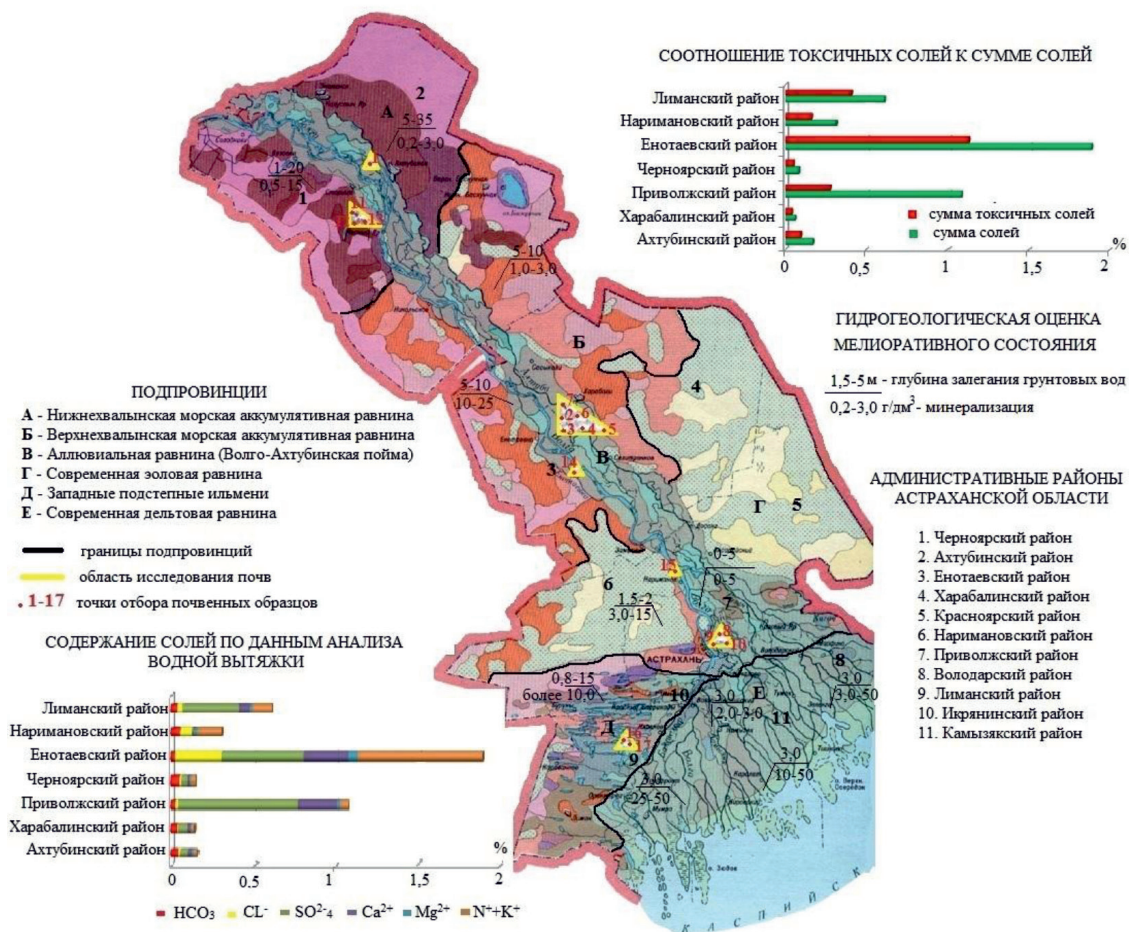


Рис. 1. Почвенно-мелиоративная схема по Д.М. Кацу, В.В. Гладких с дополнениями автора

В статье представлены результаты аналитической и математической оценки засоленности орошаемых земель левобережной и правобережной территорий области.

### Материалы и методы исследования

Почвенные образцы с семи орошаемых участков (рис. 1), отобранные в каждой подпровинции по таксонометрической схеме Д.М. Каца, исследованы аналитически по методу Е.В. Аринушкиной и представлены в табл. 1. Содержание солей по анализам водной вытяжки и соотношение токсичных солей к их сумме графически отобрано на рис. 1.

### Результаты исследования и их обсуждение

Почвы одной и той же подпровинции отличаются в левобережной и правобережной частях территории области относительно волжского русла, причем наиболее засоленными являются почвы правого берега.

В левобережной части в пределах подпровинций А, В и Г (административные

районы Ахтубинский, Харабалинский и Приволжский) развиты незасоленные, слабозасоленные и засоленные почвы.

Результаты собственных исследований показали, что почвы подпровинций А и В слабозасоленные, тип засоления сульфатный и гидрокарбонатный соответственно; в подпровинции Г – засоленные, тип засоления сульфатный. С глубиной отмечено увеличение суммы солей до 1,233–1,434%, сумма токсичных солей составляет 0,28–0,59%.

В правобережной части в пределах подпровинций А, Б, Г и Д (административные районы Черноярский, Енотаевский, Наримановский и Лиманский) почвы характеризуются различной степенью засоленности. В Черноярском районе они засолены с поверхности и отнесены к солончаковой разновидности. Енотаевский район характеризуется незасоленными и слабозасоленными почвами, Наримановский район – песками полупустынными солончаковатыми. Почвы

Лиманского района засолены с поверхности и относятся к солончаковой разновидности.

В подпровинции А тип засоления почв в верхнем горизонте гидрокарбонатный, в подстилающих – преимущественно хлоридный. В почвах подпровинции Б сульфатно-хлоридный и хлоридный тип засоления. По глубине залегания верхнего солевого горизонта сумма токсичных солей составила 1,13%.

В подпровинции Г тип засоления хлоридный, в подпровинции Д почвы с поверхности и по положению первого от поверхности солевого горизонта относятся к солончаковой разновидности, тип засоления сульфатный.

Корреляционный анализ [2, 4] данных табл. 1 позволил определить минимальные и максимальные величины по сумме солей в левобережной и правобережной части Волго-Ахтубинской долины. Рассмотрим отклонение общего объема солей в зависимости от глубины почвенного разреза (табл. 2).

Рассчитаем показатель тесноты связи – выборочный линейный коэффициент корреляции по формуле

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S(x) \cdot S(y)}, \quad (1)$$

где  $r_{xy}$  – коэффициент корреляции,  $S(x, y)$  – среднеквадратическое отклонение.

Линейный коэффициент корреляции принимает значения от – 1 до + 1. Связи

между признаками могут быть слабыми и сильными (тесными). Их критерии оцениваются по шкале Чеддока:

$$\begin{aligned} 0,1 < r_{xy} < 0,3: & \text{слабая;} \\ 0,3 < r_{xy} < 0,5: & \text{умеренная;} \\ 0,5 < r_{xy} < 0,7: & \text{заметная;} \\ 0,7 < r_{xy} < 0,9: & \text{высокая;} \\ 0,9 < r_{xy} < 1: & \text{весьма высокая.} \end{aligned}$$

Для определения доли изменчивости солей по отношению к глубине рассчитан коэффициент детерминации по формуле

$$R = (r_{xy})^2. \quad (2)$$

Подобрав уравнение связи между двумя показателями с помощью уравнения парной линейной регрессии

$$y_x = r_{xy} \frac{x - \bar{x}}{S(x)} S_y + \bar{y} \quad (3)$$

для построения графика получаем зависимость

$$y(x) = bx + a, \quad (4)$$

$$\text{при } b = \frac{\sum xy - \frac{1}{n} \sum x \cdot \sum y}{\sum x^2 - \frac{1}{n} (\sum x)^2} \text{ и } a = \bar{y} - b\bar{x},$$

где  $n$  – объем выборки.

Левобережная часть: при  $n = 16$ ,  $r_{xy} = 0,750$ ,  $R = 0,563$ , обозначает, что максимальное содержание солей 56,3% при глубине 43,7 см.

Таблица 2

Корреляционный анализ левобережной и правобережной части Волго-Ахтубинской долины

Показатели		Левобережье	Правобережье
	$x$	646	230
	$y$	11,414	5,151
Зависимость величин	$x \cdot y$	661,966	106,684
Выборочные средние	$\bar{x}$	40,375	20,909
	$\bar{y}$	0,713	0,468
	$\bar{x} \cdot \bar{y}$	41,373	9,699
Выборочные дисперсные	$x^2$	42048,000	5798,000
	$y^2$	12,645	5,375
	$S^2(x)$	997,859	89,901
	$S^2(y)$	0,281	0,269
Среднеквадратическое отклонение	$S(x)$	31,589	9,482
	$S(y)$	0,530	0,519
Коэффициент корреляции	$r_{xy}$	0,750	– 0,019
	$y(x)$	$y(x) = 0,013x - 0,204$	$y(x) = (-0,001)x + 0,49$



Из формулы (3) уравнение парной линейной регрессии примет вид

$$y(x) = 0,013x - 0,204.$$

Коэффициент  $b = 0,013$  показывает среднее изменение содержания солей с глубиной почвенного разреза. Это значит, что с увеличением глубины на 1 см сумма солей будет увеличиваться на 0,013% (рис. 2, 3). Оба рисунка свидетельствуют

о положительной корреляции с глубиной. При наибольшей глубине (100 см) содержание солей достигает практически 100%.

Рассмотрим отклонение суммарного содержания солей с глубиной на правобережной части Волго-Ахтубинской долины (табл. 2). При  $n = 11$ ,  $r_{xy} = -0,019$ ,  $R = 0,0004$ , обозначает, что максимальное содержание солей в 0,04% при глубине в 99,96 см.

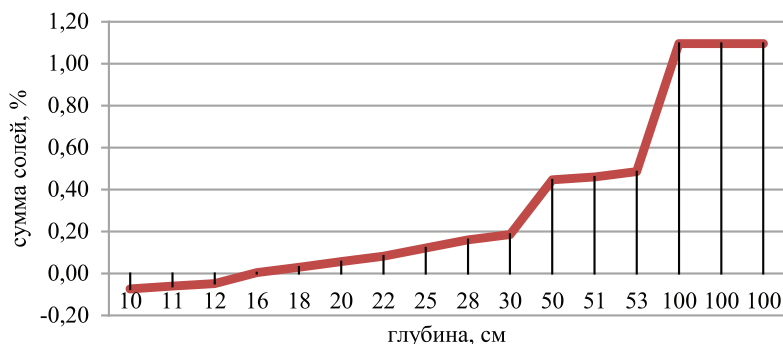


Рис. 2. Изменение содержания солей в зависимости от глубины почвенного разреза

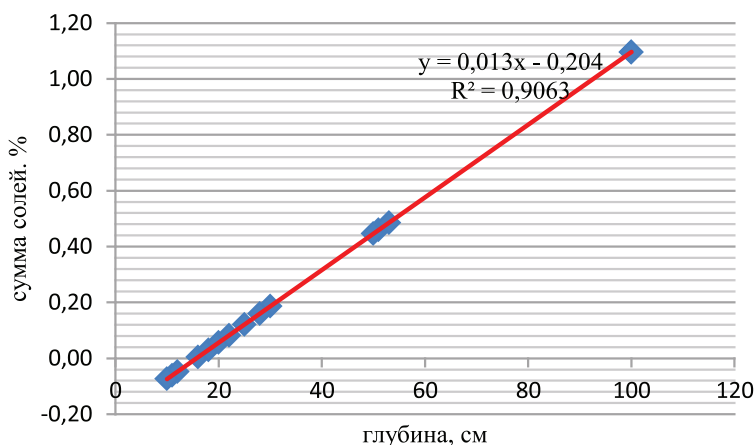


Рис. 3. Корреляционное поле зависимости содержания солей от глубины почвенного разреза

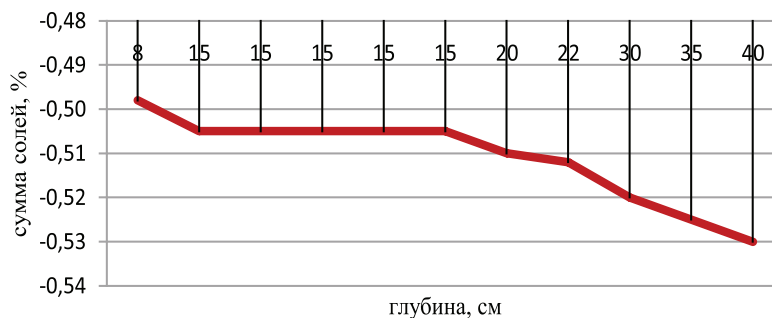


Рис. 4. Изменение содержания солей с глубиной почвенного разреза в правобережной части

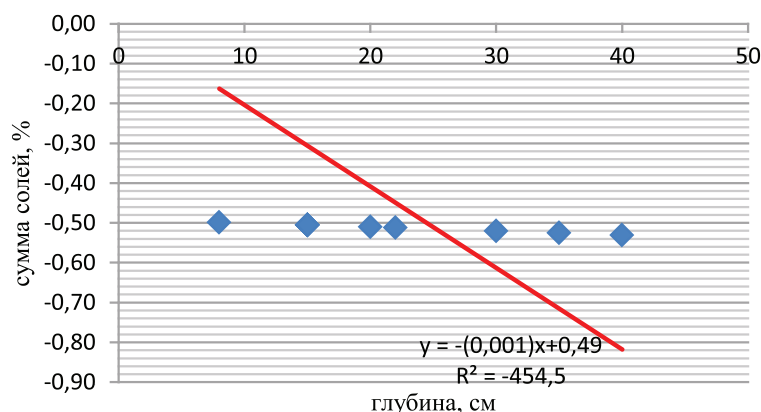


Рис. 5. Корреляционное поле зависимости содержания солей с глубиной

Линейное уравнение парной регрессии примет вид

$$y(x) = (-0,001)x + 0,49.$$

Коэффициент  $b = (-0,001)$  показывает среднее изменение содержания солей с уменьшением или увеличением почвенного разреза. Это значит, что с глубиной разреза на 1 см сумма солей будет снижаться на 0,001 % (рис. 4 и 5).

Рис. 4 и 5 свидетельствуют об отрицательной корреляции – с глубиной наблюдается уменьшение содержания солей. На глубине в 40 см будет наблюдаться снижение содержания солей на 53 %, при этом возникает функциональная связь, которая приводит к улучшению работы экосистемы р. Волги [5].

Было проанализировано 27 образцов почв с орошаемых участков. Наиболее засоленные почвы соответствуют территориям с высоким залеганием уровня грунтовых вод и повышенной минерализацией.

### Заключение

Методом корреляционного анализа в оценке засоленности почв подтверждены лабораторные исследования, как по площади, так и по разрезу. Полученные результаты могут быть использованы при подборе для выращивания соответствующих культур, способов промывки и промывных норм для удаления солей из почвенного профиля, других мелиоративных мероприятий [7].

### Список литературы

1. Болгов М.В. О выполнении программы приоритетных научных исследований в области водных ресурсов для реализации водной стратегии Российской Федерации до 2020 года / М.В. Болгов // Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции «Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.» 6–11 июля 2015 г. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. – Т. 1. – С. 39–46.
2. Кирейчева Л.В. Модели и информационные технологии управления водопользованием на мелиоративных системах, обеспечивающие благоприятный мелиоративный режим / Л.В. Кирейчева, И.Ф. Юрченко, В.М. Яшин // Мелиорация и водное хозяйство – 2014. – № 5–6. – С. 50–55.
3. Концепция развития мелиорации сельскохозяйственных земель на период до 2020 года [Текст] / Б.М. Кизяев, В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов и др. – М.: Изд. ВНИИА, 2012. – 64 с.
4. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: 2004. – 573 с.
5. Мелиорация сельскохозяйственных земель – важнейшее звено в реализации национального проекта «Развитие АПК» / И.П. Кружилин, В.В. Мелихов, Е.А. Ходяков, П.И. Кузнецов, Н.Н. Дубенок // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 2. – С. 22–24.
6. Научно-методическое обоснование разделов в схемах комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) при водообеспечении агропромышленного комплекса [Текст] / А.Л. Бубер, Ю.П. Добрачев, М.В. Лурье // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 5/6. – С. 42–47.
7. О федеральной целевой программе «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 г.»: Постановление Правительства РФ (с изменениями и дополнениями) от 12.09.2013 г. № 922 [Электронный ресурс]. – URL: <http://base.garant.ru/70478356>.
8. Пилипенко В.Н. Почвенно-растительный мониторинг дельты Волги / В.Н. Пилипенко, Е.В. Шеин, А.В. Федотова и др. // Успехи современного естествознания. – 2003. – № 12. – С. 101–103.
9. Природа, прошлое и современность Астраханского края / В.Н. Пилипенко [и др.]. – Астрахань: «Типография «НОВА», 2008. – 452 с.
10. Савельев А.В. Обоснование комплексных мелиоративных пойменных систем: [на примере Волго-Ахтубинской поймы] / А.В. Савельев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2005. – № 5. – С. 47–52.