

УДК 631.95 (282.255.439)

## ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ В НИЗОВЬЯХ РЕКИ СЫРДАРЬИ В УСЛОВИЯХ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ

*Ж.С. Мустафаев, Н.И. Иванова, К.С. Абдывалиева*

На основе систематизации и системного анализа многолетних информационно-аналитических материалов по засолению почв Кызылординской области в разрезе орошаемых массивов разработана методика оценки уровня трансформации почвенно-мелиоративных процессов и экологического состояния с использованием индекса Шеннона, которые позволяют определить интенсивность и направленность трансформации почвенно-мелиоративных процессов агроландшафтных систем в условиях антропогенной деятельности.

*Ключевые слова:* анализ; систематизация; засоление; экология.

---

## ESTIMATION OF TRANSFORMATION OF SOIL-MELIORATIVE PROCESSES IN LOW-RISKS OF THE SYRDARYA RIVER UNDER THE CONDITIONS OF LAND EMERGENCY

*Zh. S. Mustafayev, N.I. Ivanova, K.S. Abdyvalieva*

On the basis of ordering and system analysis of long-term information and analytical materials on the soil salinization of irrigated areas of Kyzylorda region in the context of irrigated areas the technique of assessing the level of transformation of soil-reclamation processes and ecological condition of using the Shannon index, which allows to determine the intensity and direction of the transformation of soil-reclamation processes agrolandscape systems in terms of human activities.

*Keywords:* analysis; systematization; salinization; environment.

Мелиорация сельскохозяйственных земель – это, безусловно, один из способов повышения продуктивности агроландшафтов с целью обеспечения продовольственной безопасности населения, но зачастую это приводит к серьезным проблемам, прежде всего, геоэкологического характера, т. е. превращение естественного ландшафта в агроэко-систему всегда вызывает глубокие преобразования состояния и режима территории.

Масштабные изменения почвенно-мелиоративного состояния агроландшафтных систем, происходящие в экологически неустойчивой природной среде в низовьях Сырдарьи с низким биологическим потенциалом, неблагоприятным для интенсивной хозяйственной деятельности, привели к тому, что почвенная среда была в значительной степени преобразована. В этой связи для реализации начальных этапов различных проектов в области природопользования необходим анализ изменений почвенно-мелиоративных процессов в агроландшафтных системах и сложившихся гидрогеохимических ситуациях, а также

геоэкологическая оценка трансформации почвенных процессов в низовьях Сырдарьи в условиях интенсивной мелиорации земель.

Цель исследования – разработка методики геоэкологической оценки почвенно-мелиоративных процессов и изучение формирования и функционирования гидрогеохимических процессов агроландшафтных систем в низовьях р. Сырдарьи.

**Материалы и методы исследования.** Для геоэкологической оценки почвенно-мелиоративных процессов агроландшафтных систем в низовьях Сырдарьи использованы многолетние информационно-аналитические материалы Южно-Казахстанской гидрогеолого-мелиоративной экспедиции (таблица 1).

Системно-структурный анализ материалов производственного исследования Государственного гидрогеологического института (ГГИ) России (таблица 1), Института почвоведения АН РК, Южно-Казахстанской и Кызылординской мелиоративно-гидрогеологической экспедиций, а также литературных источников за 60 лет [1–8] показывает,

Таблица 1 – Динамика площадей орошаемых земель (агрорландшафтов) в разрезе административных районов Кызылординской области (тыс. га)

Районы	Годы						
	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2015
Жанакорганский	9,3	15,1	32,0	35,0	32,5	21,96	27,08
Шиелийский	20,2	24,0	41,6	38,5	36,2	24,08	27,08
Жалагашский	11,3	19,0	36,8	35,0	31,5	34,96	28,14
Кармакшинский	11,5	14,4	24,7	28,0	25,1	17,93	20,62
Казалинский	13,3	14,3	30,2	32,1	30,1	18,98	17,61
Аральский	0,60	0,20	1,80	2,40	2,20	0,25	0,25
Итого	92,2	124,6	228,5	233,5	216,1	147,02	160,06

Таблица 2 – Почвенно-мелиоративное состояние массивов орошения в низовьях реки Сырдарья (Кызылординской области)

Массив орошения	Годы	Мелиоративное состояние почвы (тыс. га)			
		незасоленные	слабо-засоленные	средне-засоленные	сильно-засоленные
Тогускенский (31500 га)	1960	14100	6500	5000	5900
	1970	13100	7100	6180	5120
	1980	12200	6800	8000	4500
	1990	11000	5000	12000	3500
	2000	10000	3000	14500	4000
	2010	9640	2980	15080	3800
	2015	8500	2850	16950	3200
Шиели-Жанакорганский (45600 га)	1960	10700	5800	8000	21100
	1970	9200	6820	16150	13430
	1980	7150	10520	14500	13430
	1990	5420	15200	11000	13980
	2000	3327	17771	15730	8772
	2010	3059	23000	10153	9388
	2015	2980	23500	11420	7700
Кызылординский (128900 га)	1960	32200	30500	12500	53700
	1970	30100	28500	13600	56700
	1980	29500	27630	14200	57570
	1990	29150	26500	15000	58250
	2000	28100	26150	16500	58150
	2010	26100	25400	17450	59950
	2015	25450	24600	18500	60350
Куан-Жанарынский (67100 га)	1960	1000	28700	6300	31100
	1970	1000	28100	7400	30600
	1980	950	28500	7950	29700
	1990	950	29100	8150	28900
	2000	940	29600	8260	28300
	2010	920	28200	9450	28530
	2015	900	27282	10918	30000

Массив орошения	Годы	Мелиоративное состояние почвы (тыс. га)			
		незасоленные	слабо-засоленные	средне-засоленные	сильно-засоленные
Казалинский (59450 га)	1960	22450	8100	3000	25900
	1970	20160	8700	5460	25130
	1980	14700	9260	7210	28280
	1985	6850	10128	14260	28212
	1990	4200	13267	15180	26803
	1995	3586	12640	17520	27430
	2000	3013	14120	14887	27430

что воздействие орошения на почву очень многогранно (таблица 2).

Теоретической и методологической основой работы является системный подход к почвенно-мелиоративному исследованию агроландшафтных систем, а также система общих принципов и общенаучных подходов – комплексного и интегрального, общенаучных и специальных методов математического, статистического и корреляционно-регрессивного анализа.

**Результаты исследования.** В настоящее время методы эквивалентного сопоставления разнородных показателей применяются для оценки технического уровня проектных решений в мелиоративной науке [1, 2]. Поэтому для геоэкологической оценки трансформации почвенно-мелиоративных процессов агроландшафтных систем можно использовать показатель, характеризующий отношение количественного изменения почвенно-мелиоративного состояния почвы по степени засоления к общей площади, занимаемой агроландшафтами в системе природопользования [9]:

$$K_{ci} = \frac{F_{ci}}{F_{oa}},$$

где  $F_{oa}$  – общая площадь агроландшафтов в системе природопользования, га;  $F_{ci}$  – площадь агроландшафтов по  $i$ -степени засоления почвы в агроландшафтных системах, га;  $K_{ci}$  – коэффициент, характеризующий изменения почвенно-мелиоративных процессов в агроландшафтных системах в условиях мелиорации или антропогенной деятельности.

Для геоэкологической оценки интенсивности трансформации почвенно-мелиоративных процессов в агроландшафтных системах в результате мелиорации можно использовать обобщенный показатель  $K_{mm}$ , который определяется по формуле [9, 10]:

$$K_{mm} = 1 - \sqrt{\frac{n}{\Pi} K_i^i},$$

где  $K_{mm}$  – показатель, характеризующий интенсивность трансформации почвенно-мелиоративных процессов в агроландшафтных системах;  $K_i^i = \exp(-K_{ci})$  – относительные значения уровня трансформации почвенно-мелиоративных процессов в агроландшафтных системах [11].

На основе информационно-аналитических материалов, представленных в таблице 2, гидрогеохимическое состояние агроландшафтных систем Кызылординской области в разрезе массивов орошения, определено количественное значение коэффициента изменения направленности почвенно-мелиоративных процессов в условиях мелиорации или антропогенной деятельности (таблица 3).

Как видно из данных таблицы 3, во всех орошаемых массивах Кызылординской области наблюдается общая тенденция трансформации незасоленных почв в слабозасоленные, слабозасоленных – в средnezасоленные и средnezасоленных – в сильнозасоленные почвы, что определяется процессами двухстороннего засоления, сложившегося в низовьях Сырдарьи, т. е. выветриванием солей с высохшего дна Аральского моря и участием высокоминерализованных оросительных и грунтовых вод в геологическом круговороте в агроландшафтных системах. При этом следует отметить, что при оценке почвенно-экологической ситуации агроландшафтных систем в прогнозных расчетах учитывают долю площади земли, занимающей слабозасоленными, средnezасоленными и сильнозасоленными почвами, которые оказывают влияние на формирование почвенно-мелиоративного состояния орошаемых массивов. С такой позиции определено значение коэффициента, характеризующего уровень трансформации почвенно-мелиоративных процессов агроландшафтных систем в разрезе орошаемых массивов Кызылординской области (таблица 4).

Таблица 3 – Количественное значение коэффициента, характеризующего изменение почвенно-мелиоративных процессов агроландшафтных систем в условиях мелиорации или антропогенной деятельности

Массив орошения	Годы	Коэффициент, характеризующий изменения почвенно-мелиоративных процессов в агроландшафтных системах			
		незасоленные ( $K_{нзi}$ )	слабо-засоленные ( $K_{слзi}$ )	средне-засоленные ( $K_{срзi}$ )	сильно-засоленные ( $K_{сзi}$ )
Тогускенский (31500 га)	1960	0,448	0,206	0,159	0,187
	1970	0,416	0,225	0,196	0,163
	1980	0,387	0,215	0,253	0,145
	1990	0,349	0,159	0,380	0,176
	2000	0,317	0,095	0,460	0,128
	2010	0,306	0,094	0,478	0,122
	2015	0,270	0,093	0,538	0,099
Шиели-Жанакорганский (45600 га)	1960	0,235	0,127	0,175	0,463
	1970	0,201	0,150	0,354	0,295
	1980	0,157	0,230	0,319	0,294
	1990	0,119	0,333	0,242	0,306
Шиели-Жанакорганский (45600 га)	2000	0,073	0,390	0,345	0,192
	2010	0,067	0,504	0,224	0,205
	2015	0,065	0,515	0,251	0,169
Кызылординский (128900 га)	1960	0,250	0,237	0,097	0,416
	1970	0,233	0,221	0,106	0,440
	1980	0,229	0,214	0,110	0,447
	1990	0,226	0,206	0,116	0,452
	2000	0,218	0,203	0,128	0,451
	2010	0,202	0,197	0,135	0,466
	2015	0,197	0,191	0,143	0,469
Куан-Жанадарьинский (67100 га)	1960	0,015	0,428	0,094	0,463
	1970	0,015	0,418	0,110	0,457
	1980	0,014	0,424	0,118	0,444
	1990	0,014	0,433	0,121	0,432
	2000	0,014	0,441	0,123	0,422
	2010	0,014	0,420	0,140	0,426
	2015	0,013	0,406	0,163	0,418
Казалинский (59450 га)	1960	0,378	0,136	0,050	0,436
	1970	0,339	0,146	0,092	0,423
	1980	0,247	0,156	0,121	0,476
	1990	0,115	0,170	0,240	0,475
	2000	0,070	0,223	0,255	0,452
	2010	0,060	0,213	0,294	0,433
	2015	0,050	0,237	0,250	0,463

Таблица 4 – Значение коэффициента, характеризующего уровень трансформации почвенно-мелиоративных процессов агроландшафтных систем

Массив орошения	Годы	Показатели, характеризующие отношение количественных изменений почвенно-мелиоративного состояния почвы по степени засоления			Показатель, характеризующий интенсивность трансформации почвенно-мелиоративных процессов в агроландшафтных системах ( $K_{тмл}$ )
		слабо-засоленные ( $K_{сли}^i$ )	средне-засоленные ( $K_{срi}^i$ )	сильно-засоленные ( $K_{си}^i$ )	
Тогускенский (31500 га)	1960	0,814	0,853	0,829	0,241
	1970	0,798	0,822	0,849	0,254
	1980	0,806	0,776	0,865	0,264
	1990	0,853	0,684	0,838	0,300
	2000	0,909	0,631	0,880	0,289
	2010	0,910	0,620	0,885	0,293
	2015	0,911	0,584	0,905	0,306
Шиели-Жанакорганский (45600 га)	1960	0,880	0,839	0,629	0,318
	1970	0,860	0,702	0,744	0,330
	1980	0,794	0,727	0,745	0,344
	1990	0,716	0,785	0,736	0,357
	2000	0,677	0,708	0,825	0,371
	2010	0,604	0,799	0,814	0,373
	2015	0,597	0,778	0,844	0,374
Кызылординский (128900 га)	1960	0,788	0,907	0,659	0,314
	1970	0,801	0,899	0,644	0,319
	1980	0,807	0,895	0,639	0,321
	1990	0,814	0,890	0,636	0,321
	2000	0,816	0,879	0,637	0,324
	2010	0,821	0,874	0,627	0,329
	2015	0,826	0,866	0,625	0,295
Куандарьинский (67100 га)	1960	0,651	0,910	0,629	0,390
	1970	0,658	0,896	0,633	0,389
	1980	0,654	0,888	0,641	0,389
	1990	0,648	0,886	0,649	0,390
	2000	0,643	0,884	0,656	0,389
	2010	0,657	0,869	0,653	0,385
	2015	0,666	0,849	0,658	0,390
Казалинский (59450 га)	1960	0,873	0,951	0,647	0,267
	1970	0,864	0,912	0,655	0,281
	1980	0,856	0,886	0,621	0,314
	1990	0,843	0,787	0,621	0,358
	2000	0,800	0,775	0,636	0,372
	2010	0,808	0,745	0,648	0,376
	2015	0,789	0,778	0,629	0,378

Таблица 5 – Классификация уровня трансформации почвенно-мелиоративных процессов в условиях антропогенной деятельности

Показатели	Уровень трансформации почвенно-мелиоративных процессов			
	низкий	средний	высокий	очень высокий
Коэффициент почвенно-мелиоративных процессов ( $K_{ci}$ )	0,25	0,50	0,75	1,00
Коэффициент трансформации почвенно-мелиоративных процессов ( $K_{mm}$ )	0,12	0,23	0,32	0,40
Трофность	Олиготрофные	Мезотрофные	Эвтрофные	Гиперэвтрофные
Оценка трофического статуса по индексу Шеннона (H)	2,30–1,85	1,85–1,52	1,52–1,25	1,25–1,10
Экологическое состояние агроландшафтов	Без изменений	Стадия обратимых изменений	Пороговая стадия	Стадия необратимых изменений

Расчет показывает, что значение коэффициента, характеризующего уровень трансформации почвенно-мелиоративных процессов в Казалинском массиве орошения, увеличилось от 0,267 до 0,378, что свидетельствует об очень высокой интенсивности трансформации гидрогеохимического процесса в условиях мелиорации земель. В Куан-Жанадарьинском массиве орошения при высокой степени в естественных засоленных почвах значение коэффициента, характеризующего уровень трансформации почвенно-мелиоративных процессов, изменилось от 0,385 до 0,390, а в Кызылординском массиве орошения – от 0,314 до 0,390, что показывает высокий темп трансформации гидрогеохимического процесса.

В Шиели-Жанакорганском массиве орошения этот коэффициент изменился от 0,318 до 0,374, что показывает невысокую интенсивность трансформации гидрогеохимического процесса, а в Тогускенском массиве орошения этот показатель изменяется от 0,241 до 0,306, что говорит о высокой интенсивности трансформации гидрогеохимического процесса.

При этом следует отметить, что чем выше естественное засоление почвы по степени и площади, тем меньше интенсивность трансформации гидрогеохимического процесса, которая показывает определенную степень внутренней устойчивости антропогенных процессов.

В качестве структурных характеристик экосистем могут быть использованы показатели видовой, размерной, трофической структуры потоков. Для количественной характеристики структуры чаще всего используются разные индексы, среди которых наиболее часто – индекс Шеннона (H) [12]:

$$H = \sum (N_i / N) \cdot \lg 2(N_i / N),$$

где:  $N_i$  – численность  $i$ -го вида;  $N$  – численность всех видов.

Индекс Шеннона (H) отражает разнообразие и степень сложности структуры: сложно организованные сообщества; более разнообразные характеризуются высокими значениями индекса и, наоборот, чем проще по структуре сообщество, тем выше степень доминирования видов и тем меньше значение индекса. Индекс Шеннона (H) может рассматриваться как одна из интегральных характеристик структуры системы. Он изменяется во времени в зависимости от качественных и количественных изменений факторов среды, т. е. это эволюционные процессы, протекающие в течение длительных отрезков времени [13]. Аналогично происходят изменения и при антропогенных воздействиях, но при этом процессы изменения в экосистемах протекают с большими скоростями, которые характеризуют не только трансформацию видового разнообразия биологических масс, но также могут характеризовать почвенно-мелиоративные процессы в агроландшафтных системах.

При этом методика расчетов сводится к оценке почвенно-мелиоративного состояния агроландшафтов по коэффициенту, характеризующему трансформацию почвенно-мелиоративных процессов ( $K_{mm}$ ), и индексу Шеннона (H) (таблица 5).

На основе данных таблицы 5 построен график связи индекса Шеннона (H) и коэффициента, характеризующего уровень трансформации почвенно-мелиоративных процессов ( $K_{mm}$ ) (рисунок 1).

Как видно на рисунке 1, получена кривая связи индекса Шеннона (H) от коэффициента, характеризующего уровень трансформации почвенно-



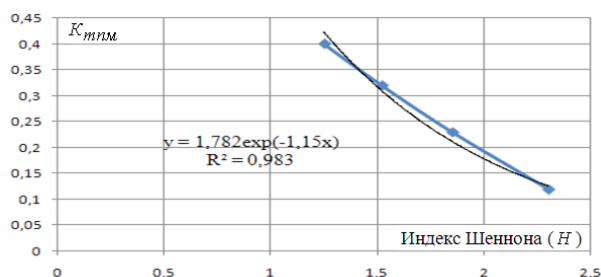


Рисунок 1 – График зависимости индекса Шеннона ( $H$ ) от коэффициента, характеризующего уровень трансформации почвенно-мелиоративных процессов ( $K_{тмм}$ )

мелиоративных процессов ( $K_{тмм}$ ) с высоким коэффициентом корреляции:

$$(R^2 = 0,983): H = 1,782 \cdot \exp(-1,15 \cdot K_{тмм}).$$

Таким образом, для оценки качества агроландшафтных систем или орошаемых массивов можно использовать индекс Шеннона ( $H$ ), позволяющий определить их экологическое состояние. Установлено, что Казалинский, Куан-Жанадарьинский и Кызылординский массивы орошения находятся в пороговой стадии, а Шиели-Жанакорганский и Тогускенский массивы – в стадии обратимых изменений, что необходимо учитывать при мелиорации сельскохозяйственных земель.

**Обсуждение.** На основе системного анализа многолетних информационно-аналитических материалов Южно-Казахстанской гидрогеолого-мелиоративной экспедиции Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан по засолению почвы ландшафтных систем Кызылординской области в разрезе орошаемых массивов, разработаны методики оценки уровня трансформации почвенно-мелиоративных процессов и экологического состояния с использованием индекса Шеннона, которые позволили определить интенсивность и направленность трансформации почвенно-мелиоративных процессов в условиях антропогенной деятельности. При этом выполнение прогнозного расчета на основе разработанных методик оценки уровня трансформации почвенно-мелиоративных процессов и экологического состояния агроландшафтных систем показывает, что во всех орошаемых массивах ухудшаются гидрогеохимические режимы почвы. Это вызывает необходимость разработки системы гидротехнических и мелиоративных мероприятий для восстановления и сохранения их эколого-мелиоративной устойчивости.

## Литература

1. Хачатурьян В.Х. Концепция улучшения экологической и мелиоративной ситуации в бассейне Аральского моря / В.Х. Хачатурьян, И.П. Айдаров // Мелиорация и водное хозяйство. 1990. № 12. С. 5–12; 1991. № 1. С. 2–9.
2. Кошкаров С.И. Мелиорации ландшафтов в низовьях реки Сырдарьи / С.И. Кошкаров. Алматы, 1997. 267 с.
3. Мустафаев Ж.С. Почвенно-экологическое обоснование мелиорации сельскохозяйственных земель в Казахстане / Ж.С. Мустафаев. Алматы, 1997. 358 с.
4. Джумабеков А.А. Оптимизация орошения на рисовых системах Приаралья. Алматы: НИЦ “Бастау”, 1996. 192 с.
5. Козыкеева А.Т. Пути улучшения почвенно-мелиоративной и экологической обстановки в низовьях реки Сырдарьи: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Т. Козыкеева. Тараз, 1998. 22 с.
6. Решеткина Н.М. Борьба с засолением земель и экологический кризис в Приаралье / Н.М. Решеткина, Р.К. Икрамов // Мелиорация и водное хозяйство. М., 2000. № 1. С. 33–36.
7. Мустафаев Ж.С. Гидрогеохимические режимы сельскохозяйственных мелиораций при комплексном освоении засоленных земель / Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева, Н.И. Иванова, Г.Е. Жидекулова, Л.К. Жусупова // Вестник КPCY. 2017. Т. 17. № 1. С. 152–156.
8. Анализ экологической ситуации и комплексная мелиоративная оценка состояния орошаемых агроландшафтов в низовьях реки Сырдарьи / Н.П. Карпенко [и др.] // Природообустройство. 2015. № 2. С. 8–12.
9. Мустафаев Ж.С. Методологические и экологические принципы мелиорации сельскохозяйственных земель / Ж.С. Мустафаев. Тараз, 2004. 306 с.
10. Щедрин В.Н. Эколого-экономические аспекты обоснования мелиорации / В.Н. Щедрин, Д.С. Гузыкин // Мелиорация и водное хозяйство. М., 1993. № 2. С. 9–11.
11. Джени К. Средние величины / К. Джени. М.: Статистика, 1990. 341 с.
12. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем / А.Ф. Алимов. СПб.: ЗИН РАН, 2000. 147 с.
13. Шабанов В.В. Методика эколого-водохозяйственной оценки водных объектов / В.В. Шабанов, В.Н. Маркин. М.: ФГБОУ ВПО РАГУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2014. 162 с.