

УДК 631.95

Доктор техн. наук

Ж.С. Мустафаев<sup>1</sup>

Доктор техн. наук

А.Т. Козыкеева<sup>1</sup>К.С. Абдывалиева<sup>2</sup>

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ  
ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ  
АГРОЛАНДШАФТОВ В НИЗОВЬЯХ РЕКИ СЫРДАРЬЯ В  
УСЛОВИЯХ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ**

**Ключевые слова:** анализ, оценка, система, систематизация, засоление, почва, процесс, экология, антропогенная, природа, методика, динамика, земля, агроландшафт

*На основе систематизации многолетних информационно-аналитических материалов по засолению почв агроландшафтов 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.*

Мелиорация сельскохозяйственных земель – это один из способов повышения продуктивности агроландшафтов с целью обеспечения продовольственной безопасности населения. Одновременно она приносит серьезные проблемы, прежде всего, геоэкологического характера, т.е. превращение естественного ландшафта в агроэкосистему всегда приводит к очень глубоким преобразованиям территории.

Масштабные изменения почвенно-мелиоративного состояния агроландшафтных систем, происходящие в экологически неустойчивой природной среде низовьев р. Сырдарья с низким биологическим потенциалом, неблагоприятным для интенсивной хозяйственной деятельности, привели к тому, что почвенная среда в значительной степени преобразована.

---

<sup>1</sup> Казахский национальный аграрный университет, г. Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup> КазНИИ рисоводства им. Ы. Жакаева, г. Кызылорда, Казахстан

В связи с необходимостью анализа изменений почвенно-мелиоративных процессов в агроландшафтных системах и сложившихся гидрогеохимических ситуациях геоэкологическая оценка трансформации почвенных процессов в низовьях р. Сырдарьи в условиях интенсивной мелиорации земель очень важны для реализации начальных этапов различных проектов в области природопользования.

**Цель исследования** – разработка методики геоэкологической оценки почвенно-мелиоративных процессов, выявление и анализ закономерностей антропогенной трансформации почв агроландшафтов Кызылординской области как базового компонента природно-технических систем (техногеосистем) в низовьях р. Сырдарьи.

**Материалы и методы исследования.** Для геоэкологической оценки почвенно-мелиоративных процессов агроландшафтных систем использованы многолетние информационно-аналитические материалы Государственного гидрогеологического института (ГГИ) России, института почвоведения АН РК, Южно-Казахстанской и Кызылординской мелиоративно-гидрогеологических экспедиций, а также литературные источники за 60 лет [3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11]. Анализ показывает, что воздействие орошения на почву многогранно (табл. 1).

Таблица 1

Почвенно-мелиоративное состояние массивов орошения в низовьях р. Сырдарьи (Кызылординская область)

Год	Мелиоративное состояние почвы			
	незасоленные	слабо засоленные	средне засоленные	сильно засоленные
<b><i>Казалинский массив орошения (59450 га)</i></b>				
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
<b><i>Куан-Жанадарьинский массив орошения (67100 га)</i></b>				
1960	1000	28700	6300	31100
1970	1000	28100	7400	30600
1980	950	28500	7950	29700
1985	950	29100	8150	28900
1990	940	29600	8260	28300
1995	920	28200	9450	28530
2000	900	27282	10918	30000

Год	Мелиоративное состояние почвы			
	незасоленные	слабо засоленные	средне засоленные	сильно засоленные
<b><i>Кызылординский массив орошения (128900 га)</i></b>				
1960	32200	30500	12500	53700
1970	30100	28500	13600	56700
1980	29500	27630	14200	57570
1985	29150	26500	15000	58250
1990	28100	26150	16500	58150
1995	26100	25400	17450	59950
2000	25450	24600	18500	60350
<b><i>Шиели-Жанакорганский массив орошения (45600 га)</i></b>				
1960	10700	5800	8000	21100
1970	9200	6820	16150	13430
1980	7150	10520	14500	13430
1985	5420	15200	11000	13980
1990	3327	17771	15730	8772
1995	3059	23000	10153	9388
2000	2980	23500	11420	7700
<b><i>Тогуспенский массив орошения (31500 га)</i></b>				
1960	14100	6500	5000	5900
1970	13100	7100	6180	5120
1980	12200	6800	8000	4500
1985	11000	5000	12000	3500
1990	10000	3000	14500	4000
1995	9640	2980	15080	3800
2000	8500	2850	16950	3200

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 [6, 11]. Поэтому, для геоэкологической оценки трансформации почвенно-мелиоративных процессов агроландшафтных систем, можно использовать показатель, характеризующий отношения количественного изменения почвенно-мелиоративного состояния почвы по степени засоления к общей площади, занимаемой агроландшафтами в системе природопользования [7]:

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

где  $F_{co}$  – 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 интенсивность трансформации почвенно-мелиоративных процессов в агроландшафтных системах в результате мелиорации, можно использовать обобщенный показатель  $K_{mmm}$ , который определяется по формуле [7, 13]:

$$K_{mmm} = 1 - \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n K_i^i},$$

где  $K_{mmm}$  – 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 [2].

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

Таблица 2

Количественное значение коэффициента, характеризующего изменение почвенно-мелиоративных процессов агроландшафтных систем в условиях мелиорации или антропогенной деятельности в условиях Кызылординской области

Год	Коэффициент			
	незасоленные ( $K_{нзи}$ )	слабо засоленные ( $K_{слзи}$ )	средне засоленные ( $K_{срзи}$ )	сильно засоленные ( $K_{сизи}$ )
<b>Казалинский массив орошения (59450 га)</b>				
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
1985	0,115	0,170	0,240	0,475
1990	0,070	0,223	0,255	0,452
1995	0,060	0,213	0,294	0,433

Год	Коэффициент			
	незасоленные ( $K_{нзи}$ )	слабо засоленные ( $K_{свзи}$ )	средне засоленные ( $K_{срзи}$ )	сильно засоленные ( $K_{сизу}$ )
2000	0,050	0,237	0,250	0,463
<b>Куан-Жанадарьинский массив орошения (67100 га)</b>				
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
1985	0,014	0,433	0,121	0,432
1990	0,014	0,441	0,123	0,422
1995	0,014	0,420	0,140	0,426
2000	0,013	0,406	0,163	0,418
<b>Кызылординский массив орошения (128900 га)</b>				
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
1985	0,226	0,206	0,116	0,452
1990	0,218	0,203	0,128	0,451
1995	0,202	0,197	0,135	0,466
2000	0,197	0,191	0,143	0,469
<b>Шиели-Жанакорганский массив орошения (45600 га)</b>				
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
1985	0,119	0,333	0,242	0,306
1990	0,073	0,390	0,345	0,192
1995	0,067	0,504	0,224	0,205
2000	0,065	0,515	0,251	0,169
<b>Тогускенский массив орошения (31500 га)</b>				
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
1985	0,349	0,159	0,380	0,176
1990	0,317	0,095	0,460	0,128
1995	0,306	0,094	0,478	0,122
2000	0,270	0,093	0,538	0,099

Как видно из данных табл. 2, на всех орошаемых массивах Кызылординской области наблюдается общая тенденция трансформации незасоленных почв в слабо засоленные, слабо засоленных в средне засоленные и средне засоленных в сильно засоленные почвы, что определяется процессами двухстороннего засоления сложившегося в низовьях р. Сырдарьи. Это выветривание солей с высохшего дна Аральского моря и участием

высокоминерализованных оросительных и грунтовых вод на геологический круговорот в агроландшафтных системах. При этом следует отметить, что при оценке почвенно-экологической ситуации агроландшафтных систем в прогнозных расчетах учитывают долю площади земли занимающих слабо засоленные, средне засоленные и сильно засоленные почвы, 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 (табл. 3).

Таблица 3

Значения коэффициента, характеризующего уровень трансформации почвенно-мелиоративных процессов агроландшафтных систем в разрезе орошаемых массивов Кызылординской области

Год	Показатель, характеризующий отношения количественных изменений почвенно-мелиоративного состояния по степени засоления			Показатель, характеризующий интенсивность трансформации почвенно-мелиоративных процессов в агроландшафтных системах ( $K_{тмм}$ )
	слабо засоленные ( $K_{сш}^i$ )	средне засоленные ( $K_{сп}^i$ )	сильно засоленные ( $K_{сш}^i$ )	
<b>Казалинский массив орошения (59450 га)</b>				
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
1985	0,843	0,787	0,621	0,358
1990	0,800	0,775	0,636	0,372
1995	0,808	0,745	0,648	0,376
2000	0,789	0,778	0,629	0,378
<b>Куан-Жанадарьинский массив орошения (67100 га)</b>				
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
1985	0,648	0,886	0,649	0,390
1990	0,643	0,884	0,656	0,389
1995	0,657	0,869	0,653	0,385
2000	0,666	0,849	0,658	0,390
<b>Кызылординский массив орошения (128900 га)</b>				
1960	0,788	0,907	0,659	0,314
1970	0,801	0,899	0,644	0,319

Год	Показатель, характеризующий отношения количественных изменений почвенно-мелиоративного состояния по степени засоления			Показатель, характеризующий интенсивность трансформации почвенно-мелиоративных процессов в агроландшафтных системах ( $K_{тлм}$ )
	слабо засоленные ( $K_{сли}^i$ )	средне засоленные ( $K_{срi}^i$ )	сильно засоленные ( $K_{сui}^i$ )	
1980	0,807	0,895	0,639	0,321
1985	0,814	0,890	0,636	0,321
1990	0,816	0,879	0,637	0,324
1995	0,821	0,874	0,627	0,329
2000	0,826	0,866	0,625	0,295
<b><i>Шиели-Жанакорганский массив орошения (45600 га)</i></b>				
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
1985	0,716	0,785	0,736	0,357
1990	0,677	0,708	0,825	0,371
1995	0,604	0,799	0,814	0,373
2000	0,597	0,778	0,844	0,374
<b><i>Тогускенский массив орошения (31500 га)</i></b>				
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
1985	0,853	0,684	0,838	0,300
1990	0,909	0,631	0,880	0,289
1995	0,910	0,620	0,885	0,293
2000	0,911	0,584	0,905	0,306

Расчет показывает, что значения коэффициентов, характеризующих уровень трансформации почвенно-мелиоративных процессов на Казалинском массиве орошения, увеличились с 0,267 до 0,378, что свидетельствует об очень высокой интенсивности трансформации гидрогеохимических процессов в условиях мелиорации земель. На Куан-Жанадарьинском массиве орошения при высокой степени в естественных засоленных почвах значения коэффициента, характеризующего уровень трансформации почвенно-мелиоративных процессов изменился с 0,385 до 0,390, а на Кызылординском массиве орошения с 0,314 до 0,390, что указывает на высокий темп трансформации гидрогеохимических процессов.

На Шиели-Жанакорганском массиве орошения коэффициент изменился с 0,318 до 0,374, что показывает на невысокую интенсивность

трансформации гидрогеохимических процессов. На Тогускенском массиве орошения этот показатель изменялся с 0,241 до 0,306, т.е. высокая интенсивность трансформации гидрогеохимических процессов (рис. 1).

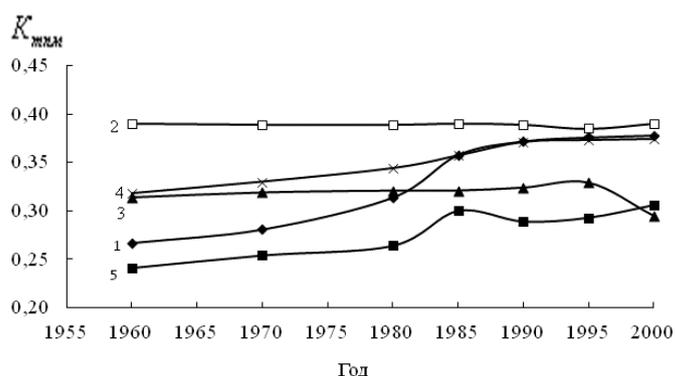


Рис. 1. Изменение коэффициента, характеризующего трансформацию почвенно-мелиоративных процессов ( $K_{mm}$ ) во временном масштабе. 1 – Казалинский массив орошения, 2 – Куан-Жанадарьинский массив орошения, 3 – Кызылординский массив орошения, 4 – Шиели-Жанакорганский массив орошения, 5 – Тогускенский массив орошения.

При этом следует отметить, чем выше естественное засоление почвы по степени и площади, тем меньше интенсивность трансформации гидрогеохимического процесса, которая показывает определенную внутреннюю устойчивость к антропогенным процессам.

В качестве структурных характеристик экосистем могут быть использованы показатели видовой, размерной, трофической структуры, структуры потоков. Для количественной характеристики структуры чаще всего используются разные индексы, среди которых наиболее часто – индекс Шеннона ( $H$ ) [1]:

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

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

Индекс Шеннона, отражает разнообразие и степень сложности структуры: сложно организованные сообщества, более разнообразные, характеризуются высокими значениями индекса и, наоборот, чем более простое по структуре сообщество, тем выше степень доминирования видов и тем меньше значение индекса. Индекс Шеннона может рассматриваться как одна из интегральных характеристик структуры системы, который изменяется во времени в зависимости от качественных и количественных изменений факторов среды, т.е. это эволюционные процессы,

протекающие в течение длительных отрезков времени [12]. Аналогично происходят изменения и при антропогенных воздействиях, но при этом процессы изменения в экосистемах протекают с большими скоростями, которые характеризуют не только трансформации видового разнообразия биологических масс, а также могут характеризовать почвенно-мелиоративные процессы в агроландшафтных системах.

При этом методика расчетов сводится к оценке почвенно-мелиоративного состояния агроландшафтов по показателям: коэффициенту, характеризующему трансформацию почвенно-мелиоративных процессов ( $K_{mm}$ ) и индексу Шеннона ( $H$ ) (табл. 4).

Таблица 4

Классификация уровня трансформации почвенно-мелиоративных процессов в условиях антропогенной деятельности по показателю  $K_{mm}$

Показатель	Уровень трансформации почвенно-мелиоративных процессов			
	низкая	средняя	высокая	очень высокая
$K_{ci}$	0,25	0,50	0,75	1,00
$K_{mm}$	0,12	0,23	0,32	0,40
Трофность почвы	олиготрофные	мезотрофные	эвотрофные	гиперэвотрофные
$H$	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

На основе информационно-аналитических материалов представленных в табл. 4 построен график связи индекса Шеннона ( $H$ ) и коэффициента, характеризующего уровень трансформации почвенно-мелиоративных процессов ( $K_{mm}$ ) (рис. 2).

Как видно на рис. 2, получена кривая связи  $H$  от  $K_{mm}$  с высоким коэффициентом корреляции  $R^2 = 0,98$ .

$$H = 1,782 \cdot \exp(-1,15 \cdot K_{mm}).$$

Таким образом, для оценки качества агроландшафтных систем или орошаемых массивов можно использовать индекс Шеннона ( $H$ ) позволяющий определить их экологическое состояние. Таким образом Казалинский, Куан-Жанадарьинский и Кызылордлинский массивы орошения

находятся на пороговой стадии, а Шиели-Жанакорганский и Тогускенский массивы орошения – на стадии обратимых изменений, что необходимо учитывать при мелиорации сельскохозяйственных земель.

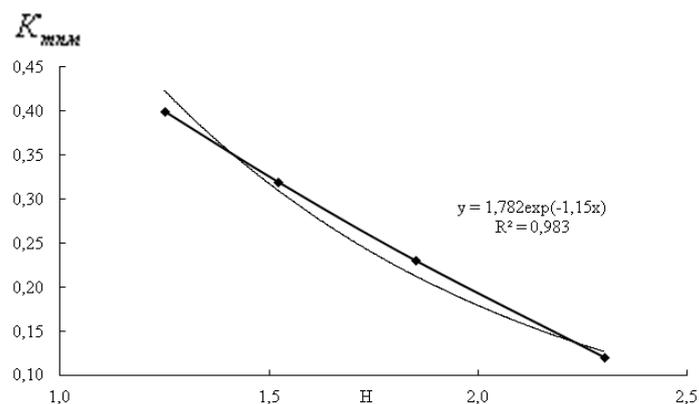


Рис. 2. График зависимости индекса Шеннона ( $H$ ) от коэффициента, характеризующего уровень трансформации почвенно-мелиоративных процессов ( $K_{\text{мкм}}$ ).

**Обсуждение.** На основе анализа многолетних информационно-аналитических материалов разработана методика оценки уровня трансформации почвенно-мелиоративных процессов и экологического состояния с использованием индекса Шеннона. Она позволила определить интенсивность и направленность трансформации почвенно-мелиоративных процессов в условиях антропогенной деятельности. При этом выполнение прогнозного расчета на основе разработанной методики оценки уровня трансформации почвенно-мелиоративных процессов и экологического состояния агроландшафтных систем показывает, что на всех орошаемых массивах ухудшается гидрогеохимический режим почв. Это требует необходимости разработки системы гидротехнических и мелиоративных мероприятий для восстановления и сохранения их эколого-мелиоративной устойчивости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем – СПб: ЗИН РАН, 2000. – 147 с.
2. Джени К. Средние величины – М.: Статистика, 1990. – 341 с.
3. Джумабеков А.А. Оптимизация орошения на рисовых системах Прииралья – Алматы: НИЦ «Бастау», 1996. – 192 с.
4. Карпенко Н.П., Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Ескермесов Ж.Е. Анализ экологической ситуации и комплексная мелиоративная оценка

- состояния орошаемых агроландшафтов в низовьях реки Сырдарья // Природообустройство. – 2015. – №2 – С. 8-12.
5. Козыкеева А.Т. Пути улучшения почвенно-мелиоративной и экологической обстановки в низовьях реки Сырдарья: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Тараз: 1998. – 22 с.
  6. Кошкаров С.И. Мелиорации ландшафтов в низовьях реки Сырдарья – Алматы: 1997. – 267 с.
  7. Мустафаев Ж.С. Методологические и экологические принципы мелиорации сельскохозяйственных земель – Тараз: 2004. – 306 с.
  8. Мустафаев Ж.С. Почвенно-экологическое обоснование мелиорации сельскохозяйственных земель в Казахстане – Алматы: 1997. – 358 с.
  9. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Ескермесов Ж.Е. Комплексная гидрогеохимическая оценка степени трансформации гидроландшафтов в низовьях реки Сырдарья // Техносферная безопасность: наука и практика: Матер. междунар. научно-практ. конф. – Бишкек, 2015. – С. 126-128.
  10. Решеткина Н.М., Икрамов Р.К. Борьба с засолением земель и экологический кризис в Приаралье // Мелиорация и водное хозяйство. – 2000. – №1. – С. 33-36.
  11. Хачатурьян В.Х., Айдаров И.П. Концепция улучшения экологической и мелиоративной ситуации в бассейне Аральского моря // Мелиорация и водное хозяйство. – 1990. – №12. – С. 5-12; 1991. – №1. – С. 2-9.
  12. Шабанов В.В., Маркин В.Н. Методика эколого-водохозяйственной оценки водных объектов – М.: ФГБОУ ВПО РАГУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2014. – 162 с.
  13. Щедрин В.Н., Гузыкин Д.С. Эколого-экономические аспекты обоснования мелиорации // Мелиорация и водное хозяйство. – 1993. – №2 – С. 9-11.

Поступила 13.09.2016

Техн. ғылымд. докторы	Ж.С. Мустафаев
Техн. ғылымд. докторы	А.Т. Козыкеева
	К.С. Абдывалиева

**СЫРДАРЬЯ ӨЗЕНІНІҢ ТӨМЕНГІ САЛАСЫНЫҢ  
АГРОЛАНДШАФТАРЫНЫҢ ТОПЫРАҚ-МЕЛИОРАТИВТІК  
ҮДІРІСТЕРІҢ ЖЕРДІ МЕЛИОРАЦИЯЛАУ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ  
ӨЗЕРУІН ГИДРОЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТҮРҒЫДА БАҒАЛАУ**

*Түйін сөздер:* талдау, баға, жүйе, жүйелеу, тұздану, топырақ, үдіріс, экология, жағдай, табиғи-техногендік, табиғат, әдістеме, динамика, жер, агроландшафт

*Қызылорда облысының агроландшафттық жүйесінің суару алқаптарының шеңберіндегі топырағының тұздануының жағдайы туралы көп жылдық ақпараттық-аналитикалық мәліметтерді жүйелеу және талдаудың негізінде Шеннонның белгісін қолдану арқылы топырақ-мелиоративтік үдірістердің және экологиялық жағдайдың өзгеруін бағалауға арналған әдістемелік нұсқа құрылған, ол табиғи-техногендік қызметтің кезіндегі агроландшафттық жүйелердегі топырақ-мелиоративтік үдірістердің қарқынын және бағытын анықтауға мүмкіншілік береді.*

Mustafayev ZH.S., Kozykееva A.T., Abdiyvaliyeva K.S.

#### **GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF TRANSFORMATION SOIL-RECLAMATION PROCESSES IN THE LOWER REACHES SYRDARIA IN THE LAND RECLAMATION**

**Keywords:** analysis, evaluation system, systematization, salinization, soil, process, environment, state, anthropogenic nature, technique, dynamics, land

*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.*