

УДК 556.01+504.4.062.2(574)

**АНТРОПОГЕННАЯ НАРУШЕННОСТЬ РЕЧНОГО СТОКА В  
БАССЕЙНОВЫХ ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ  
КАЗАХСТАНА**

Доктор геогр. наук

И.М. Мальковский

Л.С. Толеубаева

*Предложен интегральный критерий нарушенности бассейновых аквасистем, отражающий антропогенные изменения объема, режима и качества речного стока в ПХС. В качестве частных критериев нарушенности стока приняты используемые в международной практике показатели водного стресса, водообменности, загрязнения вод. Построена картограмма нарушенности речного стока в бассейновых ПХС Казахстана.*

Анализ причинно-следственных связей возникновения и развития кризисных ситуаций в природно-хозяйственных системах (ПХС) зон неустойчивого и недостаточного увлажнения позволил выявить доминирующую роль водного фактора в комплексе экологически дестабилизирующих процессов. В ряду антропогенных изменений природной среды преобразования речного стока, а также его географические, экологические и социально-экономические последствия, выделяются наиболее резко. Это определяется тем, что речной сток – один из наиболее утилизируемых в современном производстве природных ресурсов, в то же время весьма чувствительных к антропогенным воздействиям.

В настоящее время среди антропогенных факторов, воздействующих на речной сток, особенно выделяются: изменение подстилающей поверхности водосбора, создание аккумулярующих емкостей и гидроузлов, безвозвратное использование поверхностных вод в процессе производства и сброс отходов хозяйственной деятельности в водотоки и водоемы.

Подавляющее число функций, выполняемых речным стоком в ПХС, так или иначе, связаны с его объемом, межгодовой и внутригодовой изменчивостью, а также качественным составом вод. Все эти основные характеристики стока в настоящее время существенно преобразованы человеческой деятельностью.

В статье предлагается интегральный критерий нарушенности бассейновых аквасистем (ИКН), отражающий антропогенные изменения объема, режима и качества речного стока в ПХС. В качестве частных критериев нарушенности стока приняты используемые в международной практике показатели водного стресса, водообменности, загрязнения вод. Для определения интегрального критерия покомпонентные критерии путем индексации приведены к сопоставимому виду. По предложенному методу дана оценка антропогенной нарушенности восьми бассейновых аквасистем Казахстана.

Всемирной Метеорологической Организацией (ВМО) при оценке мировых ресурсов пресных вод предложен критерий водного стресса ( $S$ ), определяемый как доля ежегодно используемых запасов воды в стране (бассейне) на общественные нужды ( $X$ ) от количества возобновляемых водных ресурсов – среднемноголетнего значения речного стока ( $Q$ ), т.е.:

$$S = X/Q. \quad (1)$$

В соответствии с нормативами ВМО [3] выделяются четыре уровня водного стресса: I – низкий водный стресс (использование менее 10% имеющихся запасов воды); II – умеренный водный стресс (использование от 10 до 20 % имеющихся водных ресурсов); III – средне-высокий водный стресс (водопользование от 20 до 40 %); IV – высокий водный стресс (использование более 40 % имеющихся ресурсов). Для условий Казахстана такая градация недостаточна, так как в IV группу попадают ПХС с использованием имеющихся водных ресурсов от 45 % (Тобол-Тургайская) до 100 % (Нура-Сарысуйская). Поэтому авторы предлагают ввести еще два уровня: V – очень высокий водный стресс (водопользование от 60 до 80%); VI – чрезвычайно высокий (от 80 до 100 %). В таблице 1 приведена оценка бассейновых ПХС Казахстана по показателям водного стресса.

Сопоставление располагаемого ресурса и потенциального спроса на воду показывает, что в годы средней водности баланс стока в целом по республике положителен при незначительном дефиците стока в четырех ПХС (Ишимская, Нура-Сарысуйская, Тобол-Тургайская, Шу-Таласская). Однако в маловодные годы с учетом экологических ограничений суммарный дефицит стока для отраслей экономики может превысить 35 % спроса на воду, а по отдельным ПХС – до 95 % [6, 8]. Последствия столь глубоких дефицитов речного стока чреваты тяжелыми экономическими ущербами.

В качестве режимной характеристики речных систем – степени проточности – одним из основных показателей можно считать осредненную водообменность ( $T$ ) [5], представляющую собой отношение русловой

емкости речной системы с учетом полного объема водохранилищ ( $V$ ) к объему среднегодового стока ( $Q$ ), т.е.

$$T = V/Q, \quad (2)$$

где  $T$  измеряется в годах и долях года.

Таблица 1

Оценка бассейновых природно-хозяйственных систем Казахстана по показателям водного стресса

Бассейновые ПХС	$Q^*$ , км <sup>3</sup> /год	$X^*$ , км <sup>3</sup> /год	$S$ , б.р.	Уровень водного стресса	Индекс водного стресса, ( $\alpha$ )
Арало-Сырдарьинская	17,9	10,8	0,60	V	0,80
Балхаш-Алакольская	27,8	6,9	0,25	III	0,40
Иртышская	33,5	7,8	0,23	III	0,40
Ишимская	2,6	1,6	0,62	V	0,80
Нура-Сарысуйская	1,3	1,3	1,00	VI	1,00
Тобол-Тургайская	2,0	0,9	0,45	IV	0,60
Урало-Каспийская	11,2	2,1	0,19	II	0,20
Шу-Таласская	4,2	4,1	0,98	VI	1,00
Всего по РК	100,5	35,5	0,35	III	0,40

Примечание – \*Источник: [4, 6, 8]

В рамках программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» [5] предложена следующая классификация речных систем по показателю водообменности: I – очень большая (менее 0,10 года); II – большая (0,10...0,24 года); III – значительная (0,25...0,49 года); IV – средняя (0,50...0,99 года); V – небольшая (1,00...1,99 года); VI – малая (более 2 года). В таблице 2 приведена оценка бассейновых ПХС Казахстана по показателям водообменности.

За счет сооружения водохранилищ естественная русловая емкость речных систем Казахстана увеличилась в 10 раз, соответственно водообменность речных систем снизилась во столько же раз [5]. Этот показатель для Европы, например, составляет 6,7, для Азии – 14,3, для суши Земли в целом – 4,9 [1, 5]. Антропогенное увеличение русловой емкости речных систем подняло на 40% устойчивый сток республики, что позволило повысить водообеспеченность населения и хозяйства страны [6]. Однако при этом возросли непроизводительные потери воды, а также проявились негативные экологические последствия изменения естественного режима стока.

Оценка бассейновых природно-хозяйственных систем Казахстана по показателям водообменности

Бассейновые ПХС	$Q^*$ , км <sup>3</sup> /год	$V^{**}$ , км <sup>3</sup>	$T$ , год	Степень водообменности	Индекс водообменности, ( $\beta$ )
Арало-Сырдарьинская	17,9	7,88	0,44	III	0,40
Балхаш-Алакольская	27,8	31,41	1,13	V	0,80
Иртышская	33,5	52,93	1,58	V	0,80
Ишимская	2,6	1,82	0,70	IV	0,60
Нура-Сарысуйская	1,3	0,55	0,42	III	0,40
Тобол-Тургайская	2,0	1,70	0,85	IV	0,60
Урало-Каспийская	11,2	1,12	0,10	I	0,00
Шу-Таласская	4,2	1,05	0,25	II	0,20
Всего по РК	100,5	98,49	0,98	IV	0,60

Примечание – \* Источник: [4, 6, 8], \*\* Источник: [1, 2, 4, 5, 7]

В настоящее время широкое распространение получили разработанные и принятые СЭВ «Единые критерии качества вод», в основе которых гидрохимические и гидробиологические показатели. Выделяются следующие классы качества вод [4]: I – очень чистые; II – чистые; III – умеренно загрязненные, IV – загрязненные; V – грязные; VI – очень грязные, VII – чрезвычайно грязные. В таблице 3 приведена оценка бассейновых ПХС Казахстана по показателям качества вод.

Для трансграничных бассейнов Казахстана качественный состав речных вод в значительной мере формируется в сопредельных государствах: Китае, России, Узбекистане, Кыргызстане. В пределах республики отмечается ухудшение качества вод по течению рек. Данные таблицы 3 свидетельствуют, что речные воды четырех бассейнов республики (класс качества вод IV, V) не пригодны для хозяйственно-питьевого и бытового использования, а остальных бассейнов (класс качества вод III) условно пригодны с очисткой [4].

Используя частные индексы нарушенности речного стока ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ), количественная оценка интегрального критерия нарушенности аквасистем (ИКН) ( $\omega$ ) может быть произведена по формуле:

$$\omega = \alpha v_{\alpha} + \beta v_{\beta} + \gamma v_{\gamma}, \quad (3)$$

где  $v_{\alpha}, v_{\beta}, v_{\gamma}$  – относительный вес частных критериев, т.е.

$$v_{\alpha} + v_{\beta} + v_{\gamma} = 1. \quad (4)$$

Таблица 3

Оценка бассейновых природно-хозяйственных систем Казахстана по показателям качества вод

Бассейновые ПХС	Основные загрязняющие вещества*	Класс качества вод*	Индекс качества вод, ( $\gamma$ )
Арало-Сырдарьинская	сульфаты, медь, фенолы, нитриты, нефтепродукты	III	0,40
Балхаш-Алакольская	медь, цинк, фенолы, фториды, нефтепродукты	IV	0,60
Иртышская	медь, цинк, нефтепродукты	IV	0,60
Ишимская	нефтепродукты, нитриты, медь, сульфаты	III	0,40
Нура-Сарысуйская	нефтепродукты, медь, нитриты, фенолы, фториды, цинк	IV	0,60
Тобол-Тургайская	нитриты	III	0,40
Урало-Каспийская	бораты, нитриты, фенолы, хром, нефтепродукты, медь	V	0,80
Шу-Таласская	органика, нефтепродукты	III	0,40
Всего по РК		IV	0,60

Примечание – \*Источник: [4]

В таблице 4 приведена оценка бассейновых ПХС Казахстана по интегральным критериям нарушенности (ИКН) (при соотношении частных критериев в пропорции  $\nu_\alpha : \nu_\beta : \nu_\gamma = 3 : 1 : 2$ ). Предлагается следующая качественная градация по степени нарушенности: I – малая (0,0...0,2); II – средняя (0,2...0,4); III – значительная (0,4...0,6); IV – большая (0,6...0,8); V – очень большая (0,8...1,0).

Значительная степень нарушенности бассейновых аквасистем Казахстана, показанная на рисунке, свидетельствует, что характер водопользования в республике не является устойчивым и водные ресурсы становятся фактором, ограничивающим развитие. Необходимо срочно обратить внимание на интенсивное управление ресурсами и спросом на них. Должны быть решены вопросы водосбережения в отраслях экономики и водообеспечения альтернативными источниками, в т.ч. подземными водами и опресненными минерализованными водами.

Оценка бассейновых природно-хозяйственных систем Казахстана по интегральным критериям нарушенности аквасистем (ИКН)

Бассейновые ПХС	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\omega$	Степень нарушенности
Арало-Сырдарьинская	0,80	0,40	0,40	0,60	III
Балхаш-Алакольская	0,40	0,80	0,60	0,53	III
Иртышская	0,40	0,80	0,60	0,53	III
Ишимская	0,80	0,60	0,40	0,63	IV
Нура-Сарысуйская	1,00	0,40	0,60	0,77	IV
Тобол-Тургайская	0,60	0,60	0,40	0,53	III
Урало-Каспийская	0,20	0,00	0,80	0,36	II
Шу-Таласская	1,00	0,20	0,40	0,67	IV
Всего по РК	0,40	0,60	0,60	0,50	III



Рис. Нарушенность бассейновых аквасистем Казахстана.

Следует отметить, что полученные оценки, основанные на использовании недостаточно полных исходных данных, имеют главным образом методическое значение и требуют дальнейшего уточнения.

