

УДК 556.01+504.4.062.2(574)

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ

Л.С. Толеубаева

Разработаны критерии оценки гидроэкологической безопасности природно-хозяйственных систем (ПХС) Казахстана и методы их определения, дана оценка их современного состояния по предложенным критериям.

Развитие водопользования в Казахстане осуществляется по несбалансированным траекториям с высоким уровнем риска, что уже привело к появлению катастрофических ситуаций (Аральский гидроэкологический кризис) и чревато появлением новых очагов экологической нестабильности в ряде регионов республики. Обстановка диктует необходимость перехода к экологически безопасным стратегиям водопользования, как необходимому условию перехода Казахстана к устойчивому развитию (в рамках Казахстанской Повестки Дня на XXI век) [1].

Геоэкологическая оценка ПХС по гидрологическим критериям в настоящей работе трактуется как оценка сбалансированности водопользования в ПХС с позиции устойчивого развития. Под ПХС понимается сложное образование, включающее элементы природы и хозяйства, территориально организованное по бассейновому принципу. Сбалансированность водопользования в контексте документов ООН по окружающей среде и развитию трактуется как удовлетворение современного спроса на воду ПХС без ущерба способности удовлетворять перспективные потребности с учетом ограниченности и уязвимости ресурсов природных вод, а также необходимости справедливого подхода к интересам различных водопользователей.

В аспекте решения проблем сбалансированного водообеспечения территории Республики Казахстан вычленяются восемь бассейновых природно-хозяйственных систем (зон устойчивого экосистемного развития): Арало-Сырдаринская, Балкаш-Алакольская, Ертисская, Есильская, Жайык-Каспийская, Нура-Сарысузская, Тобыл-Торгайская, Шу-Таласская [2].

Для оценки геоэкологических ситуаций в ПХС по степени сбалансированности водопользования предложена трехуровневая система гидрологических критериев как необходимая, но не достаточная составляющая геоэкологических оценок (рис. 1). В качестве интегрального индикатора геоэкологических ситуаций в ПХС (верхнего уровня) предложен критерий «гидроэкологической безопасности», отражающий в ресурсном аспекте степень защищенности водопользователей ПХС от последствий антропогенного преобразования природных вод и экстремальных гидрологических явлений. Средствами защиты ПХС являются мероприятия по водосбережению, водорегулированию, водораспределению и водоочистке.

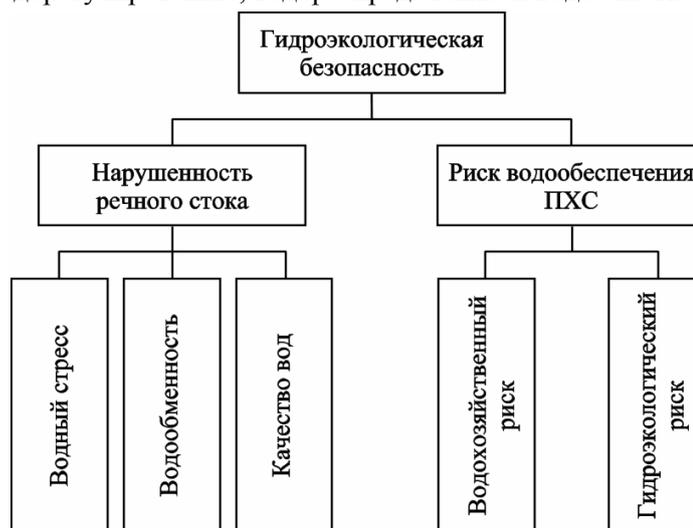


Рис. 1. Иерархия критериев оценки гидроэкологических ситуаций в ПХС.

Для количественной и качественной оценки уровня гидроэкологической безопасности ПХС в ресурсном аспекте предложены гидрологические критерии нарушенности речного стока и риска водообеспечения ПХС.

Критерий нарушенности речного стока является интегральным показателем, отображающим антропогенные преобразования объема, режима и качества речного стока. Количественная оценка нарушенности речного стока производится путем интеграции частных критериев водного стресса (индекс α), водообменности (индекс β), качества вод (индекс γ) на основе принципов квалиметрии:

$$\omega = \alpha v_{\alpha} + \beta v_{\beta} + \gamma v_{\gamma}, \quad (1)$$

где $v_{\alpha}, v_{\beta}, v_{\gamma}$ – относительный вес частных критериев, т.е. $v_{\alpha} + v_{\beta} + v_{\gamma} = 1,0$.

Всемирной Метеорологической Организацией (ВМО) при оценке мировых ресурсов пресных вод предложен критерий водного стресса (S), определяемый как доля ежегодно используемых запасов воды в стране на общественные нужды (X) от количества возобновляемых водных ресурсов – среднемноголетнего значения речного стока (Q), т.е. [3]

$$S=X/Q. \quad (2)$$

Автором определен критерий водного стресса природно-хозяйственных систем Казахстана (табл. 1). В соответствии с нормативами ВМО выделяются четыре уровня водного стресса (индекс α). Для условий Казахстана автором введены еще два уровня.

Таблица 1

Оценка ПХС Казахстана по показателям водного стресса

| Бассейновые ПХС | Запасы* (Q), км ³ /год | Производственный потенциал (X) *, км ³ /год | Водный стресс (S)** | Уровень водного стресса | Индекс водного стресса, (α) |
|--------------------|---------------------------------------|--|-------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Арало-Сырдаринская | 17,9 | 10,8 | 0,60 | очень высокий (V) | 0,80 |
| Балкаш-Алакольская | 27,8 | 6,9 | 0,25 | средне-высокий (III) | 0,40 |
| Ертисская | 33,5 | 7,8 | 0,23 | очень высокий (III) | 0,40 |
| Есильская | 2,6 | 1,6 | 0,62 | очень высокий (V) | 0,80 |
| Жайык-Каспийская | 11,2 | 2,1 | 0,19 | умеренный (II) | 0,20 |
| Нура-Сарысуйская | 1,3 | 1,3 | 1,00 | чрезвычайно высокий (VI) | 1,00 |
| Тобыл-Торгайская | 2,0 | 0,9 | 0,45 | высокий (IV) | 0,60 |
| Шу-Таласская | 4,2 | 4,1 | 0,98 | чрезвычайно высокий (VI) | 1,00 |
| Всего по РК | 100,5 | 35,5 | 0,35 | средне-высокий (III) | 0,40 |

Примечание: * – Источник: [2, 4, 5], ** – безразмерная величина.

В качестве режимной характеристики речных систем – степени проточности – одним из основных показателей можно считать осредненную водообменность (T), представляющую собой отношение русловой емкости речной системы с учетом полного объема водохранилищ (V) к объему среднегодового стока (Q), т.е. [6]

$$T = V / Q, \quad (3)$$

где T измеряется в годах и долях года. Автором в работе была использована шестиступенчатая классификация речных систем по показателю водообменности, предложенная в рамках программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (табл. 2).

Таблица 2

Оценка бассейновых ПХС Казахстана по показателям водообменности

| Бассейновые ПХС | Ресурсы стока (Q)*, км ³ /год | Русловая емкость (V)**, км ³ | Водообменность, (T), год | Степень водообменности | Индекс водообменности, β |
|--------------------|--|---|------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Арало-Сырдаринская | 17,9 | 7,45 | 0,42 | значительная | (III) 0,40 |
| Балкаш-Алакольская | 27,8 | 22,19 | 0,80 | средняя | (IV) 0,60 |
| Ертысская | 33,5 | 53,30 | 1,59 | небольшая | (V) 0,80 |
| Есильская | 2,6 | 1,67 | 0,64 | средняя | (IV) 0,60 |
| Жайык-Каспийская | 11,2 | 2,17 | 0,19 | большая | (II) 0,20 |
| Нура-Сарысузская | 1,3 | 1,28 | 0,98 | средняя | (IV) 0,60 |
| Тобыл-Торгайская | 2,0 | 1,66 | 0,83 | средняя | (IV) 0,60 |
| Шу-Таласская | 4,2 | 1,31 | 0,31 | значительная | (III) 0,40 |
| Всего по РК | 100,5 | 91,03 | 0,91 | средняя | (IV) 0,60 |

Примечание: * – Источники: [2, 4, 5], ** – Источники: [5, 6, 7, 8, 9].

Большая водообменность характерна для бассейновых ПХС с неглубоким зарегулированием речного стока (Жайык-Каспийская). Напротив, небольшая водообменность присуща ПХС с высокой степенью зарегулирования стока водохранилищами (Ертысская).

В данной работе автором использовалась выполненная Казгидрометом классификация качества вод ПХС Казахстана, в основе которой лежат гидрохимические и гидробиологические показатели [5] (табл. 3).

Таблица 3

Оценка бассейновых ПХС Казахстана по показателю качества вод

| Бассейновые ПХС | Основные загрязняющие вещества * | Класс качества вод * | | Индекс качества вод, (γ) |
|--------------------|---|-----------------------|-------|-----------------------------------|
| Арало-Сырдаринская | сульфаты, медь, фенолы, нитриты, нефтепродукты | умеренно загрязненные | (III) | 0,40 |
| Балкаш-Алакольская | медь, цинк, фенолы, фториды, нефтепродукты | загрязненные | (IV) | 0,60 |
| Ертисская | медь, цинк, нефтепродукты | загрязненные | (IV) | 0,60 |
| Есильская | нефтепродукты, нитриты, медь, сульфаты | умеренно загрязненные | (III) | 0,40 |
| Жайык-Каспийская | бораты, нитриты, фенолы, хром, нефтепродукты, медь | сильно грязные | (V) | 0,80 |
| Нура-Сарысуйская | нефтепродукты, медь, нитриты, фенолы, фториды, цинк | загрязненные | (IV) | 0,60 |
| Тобыл-Торгайская | нитриты | умеренно загрязненные | (III) | 0,40 |
| Шу-Таласская | органика, нефтепродукты | умеренно загрязненные | (III) | 0,40 |
| Всего по РК | | загрязненные | (IV) | 0,60 |

Примечание: * – Источник [5].

Согласно этой классификации воды Арало-Сырдаринской, Есильской, Тобыл-Торгайской и Шу-Таласской ПХС для питьевых и ряда производственных целей требуют сложной подготовки. Воды Балкаш-Алакольской, Ертисской, Нура-Сарысуйской ПХС даже после подготовки непригодны для питьевого водоснабжения, рыбоводства, целей рекреации и для использования в производстве. Воды Жайык-Каспийской ПХС могут

быть лишь условно использованы для орошения и охлаждения, но непригодны для других целей.

На основании полученных частных индексов была дана оценка нарушенности речного стока ПХС по формуле 1. Автором предложена следующая пятиступенчатая классификация (табл. 4):

Таблица 4

Оценка бассейновых ПХС Казахстана
по интегральным критериям нарушенности речного стока

| Степень нарушенности | Градация нарушенности | Показатели нарушенности | |
|----------------------|-----------------------|-------------------------|---|
| Малая | I | 0,0...0,2 | Изменения стока в пределах естественной флуктуации |
| Небольшая | II | 0,2...0,4 | Нарушения качественных показателей речного стока |
| Средняя | III | 0,4...0,6 | Нарушение качественных и режимных характеристик речного стока |
| Значительная | IV | 0,6...0,8 | Нарушение объема, режима и качества речного стока |
| Большая | V | 0,8...1,0 | Необратимые нарушения основных характеристик речного стока |

На рис. 2 приведена оценка бассейновых ПХС Казахстана по интегральным критериям нарушенности (ИКН) (при соотношении частных критериев в пропорции $v_{\alpha} : v_{\beta} : v_{\gamma} = 3 : 1 : 2$).

Критерий риска водообеспечения ПХС учитывает объективное существование фактора неопределенности при удовлетворении спроса на воду ПХС, обусловленного вероятностной изменчивостью речного стока и неконтролируемой хозяйственной деятельностью [10]. Количественным измерением риска является «объем воды, не доставляемый потребителю из-за маловодности источника, характеризуемый средним за многолетний период годовым значением» [11], т.е.

$$R = \int_0^U P(u) du, \quad (4)$$

где R – риск водообеспечения ПХС – математическое ожидание годовых объемов дефицитов воды в ПХС в долях спроса на воду, $P(u)$ – вероятность дефицита воды в ПХС по относительному числу бесперебойных лет,

U – максимальный дефицит воды в ПХС (уязвимость) в долях спроса на воду ПХС.



Рис. 2. Нарушенность речного стока ПХС Казахстана.

Разработанные расчетные методы использованы при оценке риска водообеспечения в восьми бассейновых ПХС Казахстана. Основой для расчета послужили построенные автором обобщенные водохозяйственные характеристики ПХС с использованием информации Комитета по водным ресурсам МСХ РК о ресурсах речного стока и спроса на воду в разрезе восьми бассейновых ПХС [2]. Автором предложена следующая пятиступенчатая классификация бассейновых ПХС по критерию риска водообеспечения (табл. 5).

На рис. 4 выделены две ПХС с умеренным риском, две – со средним риском, три ПХС – со средневысоким риском и одна ПХС с высоким риском. В категорию умеренного и среднего риска попали ПХС с глубокой зарегулированностью речного стока крупными водохранилищами: Бухтарминским, Капчагайским, Токтогульским, Таштуккульским. Высокий риск водообеспечения ПХС центрального и северного Казахстана обу-

словлен значительной межгодовой изменчивостью стока местных рек, имеющих так называемый «казахстанский тип питания».

Таблица 5

Оценка бассейновых природно-хозяйственных систем Казахстана по критерию риска водообеспечения

| Степень нарушения | Градация нарушения | Показатели нарушения |
|-------------------|--------------------|---|
| Малая | I 0,00...0,05 | Водообеспечение компонентов в пределах нормативов |
| Небольшая | II 0,05...0,10 | Сверхнормативное водоограничение наименее ответственных компонентов |
| Средняя | III 0,10...0,20 | Глубокое водоограничение менее ответственных компонентов |
| Значительная | IV 0,20...0,30 | Сверхнормативное водоограничение приоритетных компонентов |
| Большая | V > 0,30 | Глубокое водоограничение приоритетных компонентов |

Важнейшей характеристикой ПХС являются показатели водообеспеченности природного и хозяйственного компонентов ПХС, для оценки которых автором предложены критерии гидроэкологического и водохозяйственного рисков. Количественно данные критерии оцениваются как средневзвешенные значения дефицитов воды в ПХС, относимых на природный и хозяйственный компоненты ПХС. Необходимым условием оценки ПХС по критериям гидроэкологического и водохозяйственного рисков является обоснование принципов разрешения конфликта интересов «экономики и экологии» в ПХС в периоды дефицита воды.

Полагая правомерными различные подходы к данной проблеме, в настоящей работе принят принцип безусловного приоритета водообеспечения природного компонента относительно хозяйственного. Согласно данному принципу регламентируется первоочередное водоограничение хозяйственного компонента в случае возникновения дефицита воды в ПХС. Водоограничение природного компонента при этом производится лишь при глубоких дефицитах воды после полного прекращения водоподачи хозяйственному компоненту. Очевидно, что принятая схема вододелиния является достаточно идеализированной, и в практике управления

водными ресурсами применяются более сложные компромиссные решения конфликтных ситуаций, различные для условий конкретных бассейнов. В этой связи предложенную схему следует рассматривать как один из возможных (базовых) вариантов согласования интересов «экологии и экономики», в котором доминируют природоохранные цели. Принятую схему определения гидроэкологических и водохозяйственных рисков в ПХС иллюстрирует рис. 3 [12].

На рисунке приняты следующие обозначения: $Q, Q_{\text{Э}}, Q_{\text{Х}}$ – спрос на воду соответственно ПХС в целом, природного и хозяйственного компонентов; $R_{\text{Э}}$ и $R_{\text{Х}}$ – соответственно гидроэкологический и водохозяйственный риски; $P_{\text{Э}}$ и $P_{\text{Х}}$ – надежность водообеспечения соответственно природного и хозяйственного компонентов ПХС; $U, U_{\text{Э}}, U_{\text{Х}}$ – уязвимость водообеспечения соответственно ПХС в целом, природного и хозяйственного компонентов (в долях спроса на воду).

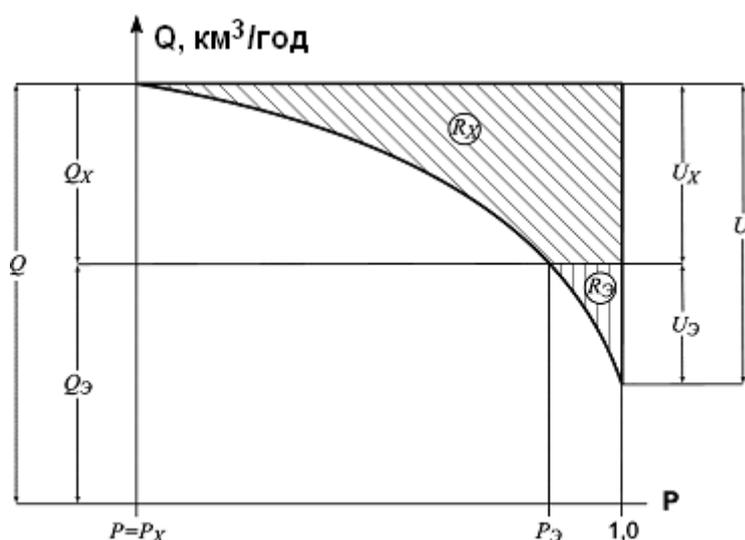


Рис. 3. Расчетная схема оценки гидроэкологических и водохозяйственных рисков в ПХС.

Согласно принятой схеме гидроэкологический и водохозяйственный риски определяются по формулам 5 и 6 [12]:

$$R_{\text{Э}} = \int_0^{U_{\text{Э}}} P(U) dU . \quad (5)$$

$$R_X = \int_{U_{\text{э}}}^U P(U) dU. \quad (6)$$

В табл. 6 представлены авторские результаты расчета гидроэкологического и водохозяйственного рисков природно-хозяйственных систем республики по формулам 5 и 6 соответственно. Результаты авторского расчета критериев риска водообеспечения приведены на рис. 4.

Анализ результатов расчета позволяет констатировать, что принятая схема регламентации водораспределения гарантирует достаточно благоприятные условия водообеспечения природного компонента в четырех ПХС, где величина риска не превышает 4 % спроса на воду, а надежность водообеспечения составляет более 95 % (табл. 6). Остальные четыре ПХС характеризуются более высокими показателями гидроэкологического риска, приемлемость которых оценить невозможно вследствие отсутствия соответствующих нормативов.

Таблица 6

Расчет гидроэкологического и водохозяйственного рисков бассейновых природно-хозяйственных систем РК

| Бассейновые ВХС | Q | $Q_{\text{э}}$ | Q_X | P | $P_{\text{э}}$ | R_X | $R_{\text{э}}$ |
|--------------------|------|----------------|-------|------|----------------|-------|----------------|
| Арало-Сырдаринская | 16,7 | 5,9 | 10,8 | 0,28 | 1,00 | 0,285 | 0,000 |
| Балкаш-Алакольская | 24,4 | 17,5 | 6,9 | 0,66 | 0,96 | 0,190 | 0,003 |
| Ертисская | 26,6 | 18,8 | 7,8 | 0,76 | 0,96 | 0,140 | 0,004 |
| Есильская | 2,8 | 1,2 | 1,6 | 0,38 | 0,72 | 0,450 | 0,128 |
| Жайык-Каспийская | 11,2 | 9,1 | 2,1 | 0,41 | 0,57 | 0,510 | 0,177 |
| Нура-Сарысуйская | 1,9 | 0,6 | 1,3 | 0,23 | 0,66 | 0,550 | 0,170 |
| Тобыл-Торгайская | 2,1 | 1,2 | 0,9 | 0,37 | 0,64 | 0,500 | 0,165 |
| Шу-Таласская | 4,3 | 0,2 | 4,1 | 0,42 | 1,00 | 0,385 | 0,000 |

Состояние всех ПХС по критерию водохозяйственного риска можно оценить как неудовлетворительное, поскольку принятым нормативам надежности (для орошаемого земледелия) отвечает лишь гидроэкологическая ситуация в Ертисской ПХС. Полученные результаты позволяют сде-

лать вывод, что для сбалансирования интересов природных и хозяйственных компонентов в ПХС следует использовать компромиссные схемы водораспределения.



Рис. 4. Риск водообеспечения ПХС.

Используя индексы нарушенности стока (I_N) и риска водообеспечения (I_P), количественная оценка гидроэкологической безопасности I_B бассейновых ПХС произведена по предложенной автором формуле:

$$I_B = v_{I_N} \cdot \frac{1}{I_N / \overline{I_N}} + v_{I_P} \cdot \frac{1}{I_P / \overline{I_P}}, \quad (7)$$

где I_N – индекс нарушенности стока ПХС; $\overline{I_N}$ – средневзвешенный по бассейнам индекс нарушенности стока; I_P – индекс риска водообеспечения ПХС; $\overline{I_P}$ – средневзвешенный по бассейнам индекс риска водообеспечения; v_{I_N} и v_{I_P} – относительные веса (коэффициенты) индексов нарушенности стока и риска водообеспечения, т.е. $v_{I_N} + v_{I_P} = 1$.

Автором предложена пятиступенчатая классификация бассейновых ПХС по степени гидроэкологической безопасности (табл. 7).

Таблица 7

Классификация бассейновых ПХС по степени гидроэкологической безопасности

| Общая оценка геоэкологической ситуации в ПХС (степень) | Градация по степени гидроэкологической безопасности* | Группы показателей | | Основные направления улучшения геоэкологического состояния |
|--|--|---|---|---|
| | | Нарушенность речного стока в ПХС | Водообеспеченность ПХС | |
| Удовлетворительная | I > 1,5 | Изменения стока в пределах естественной флуктуации | Водообеспечение компонентов в пределах нормативов | — |
| Напряженная | II 1,0...1,5 | Нарушения качественных показателей речного стока | Сверхнормативное водоограничение наименее ответственных компонентов | Мероприятия по предотвращению загрязнения речных вод и водосбережению |
| Критическая | III 0,75...1,00 | Нарушение качественных и режимных характеристик речного стока | Глубокое водоограничение менее ответственных компонентов | Мероприятия по совершенствованию системы регулирования речного стока водохранилищами и водосбережению |
| Кризисная | IV 0,5...0,75 | Нарушение объема, режима и качества речного стока | Сверхнормативное водоограничение приоритетных компонентов | Мероприятия по водосбережению и привлечению альтернативных водисточников |
| Катастрофическая | V < 0,5 | Необратимые нарушения основных характеристик речного стока | Глубокое водоограничение приоритетных компонентов | Коренная реконструкция системы водопользования |

Примечание: * - безразмерная величина.

На рис. 5 приведена оценка бассейновых ПХС Казахстана по степени гидроэкологической безопасности (при соотношении весовых коэффициентов в пропорции ($v_{I_H} : v_{I_P} = 1:1$)).



Рис. 5. Оценка геоэкологических ситуаций в бассейновых ПХС РК по критерию гидроэкологической безопасности.

Выполненная оценка геоэкологических ситуаций в бассейновых ПХС Казахстана 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 том числе подземными водами и опресненными минерализованными водами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Концепция экологической безопасности Республики Казахстан на 2004-2015 годы. – Астана, 2005.

2. Рябцев А.Д., Кеншимов А.К. Водные ресурсы Казахстана: проблемы и перспективы использования. // Водное хозяйство Казахстана, 2004. – № 1. – С. 18-27.
3. Вода всего мира: достаточно ли ее? – ВМО/ ЮНЕСКО, 1997. – С. 16-20.
4. Мальковский И.М., Сорокина Т.Е., Төлеубаева Л.С. Проблемы устойчивого водообеспечения природно-хозяйственных систем Казахстана. // Международный научно-практический журнал «Проблемы освоения пустынь». – Ашхабад, 2001. – №2. – С. 30-36.
5. Водные ресурсы Казахстана в новом тысячелетии. Обзор. – UNDP Kazakhstan. – Алматы, 2004. – 132 с. – С. 15-19, 30-32, 97.
6. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду. – М.: Наука, 1986. – С. 24-26, 70-74.
7. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища. – М.: Мысль, 1987. С. 24-27, С. 45-46, 306-312.
8. Ашенов Г.А. Водная артерия Центрального Казахстана. // Водное хозяйство Казахстана, 2004. – № 2. – С. 37-39.
9. Оспанбекова Г.К. Трансграничные проблемы бассейна реки Тобол. // Водное хозяйство Казахстана, 2004. – № 2. – С. 42-44.
10. Бурлибаев М.Ж., Волчек А.А., Шведовский П.В. Проблемы оптимизации природопользования и природообустройства в математических методах и моделях. – Алматы: Каганат, 2003. – 525 с.
11. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Водохозяйственные расчеты. – Л.: Гидрометеоздат, 1952. – С. 53.
12. Чокин Ш.Ч., Мальковский И.М., Паутов А.С. Параметры и режимы гидроэлектростанций. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1983. – С. 47-73.

Институт географии МОН РК

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ТАБИҒИ – ШАРУАШЫЛЫҚ
ЖҮЙЕСІН ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ КРИТЕРИЙЛЕР БОЙЫНША
ГЕОЭКОЛОГИЯЛЫҚ БАҒАЛАУ**

Л.С. Төлеубаева

Қазақстанның табиғи – шаруашылық жүйесінің (ТШЖ) гидроэкологиялық қауіпсіздігін бағалау критерийлері және оларды анықтау әдістері әзірленді, ұсынылған критерийлер бойынша олардың қазіргі жағдайына баға берілді.