

УДК 556.01

**ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОСТИ
ГЕОСИСТЕМЫ БЕССТОЧНЫХ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ**

Доктор техн.наук
Доктор техн.наук
Канд.техн.наук
Канд.техн.наук

В.К.Бишимбаев
Ж.С.Мустафаев
С.Т.Таупбаев
А.Т.Козыкеева
Л.Ж.Мустафаева
М.К.Ешмаханов
К.Ж.Мустафаев

В работе определены понятия гидроэкологии и его место в прикладной экологии, а также разработана математическая модель гидроэкологической устойчивости экосистемы описывающая уровень экологического состояния природных объектов в зависимости от условий интенсивности использования природных ресурсов.

Движущей силой развития современных систем управления условиями природной среды в основном являются противоречия между практически неограниченными потребностями водных ресурсов развивающегося человечества и ограниченными возможностями материальных и энергетических ресурсов природы. Влияние человека на состояние гидрологического режима реки, обусловлено, прежде всего, возрастающими темпами вовлечения природных ресурсов в производство, истощением запасов и ухудшением их состояния, что является очень сложным процессом и часто имеет скрытый характер. Для определения уровня влияния антропогенной деятельности на режим функционирования речных экосистем, необходимо использовать принципы и положения, методы и методологию исследований, существующих в гидрологии, которые базируются на основе законов природы и характеризуют образование, трансформацию, перераспределение и перенос веществ и энергии. Следовательно, с научной и прикладной точки зрения управление природно-хозяйственными системами речных бассейнов аридных зон, относящихся к системам бессточных бассейнов, по существу является задачей управления экологической системой или кибер-

нетической задачей, что определяет ряд основополагающих принципов конструируемого метода: принцип целостного подхода и иерархической организации, на основе выделения ключевых и интегрирующих системообразующих факторов.

В настоящее время в результате эволюционного развития науки из гидрологии выделились гидробиология и гидрохимия, изучающие характер преобразований (трансформации) стока рек по мере их движения из зоны формирования стока к базису эрозии, которые определяются как природными процессами географических зон, так и интенсивностью антропогенных нагрузок /1,2/. При этом, аридным зонам характерна, что концевая часть рек, всегда смыкается бессточными водоемами, которые являются природными накопительными резервуарами, принимающих осадко-соли со всех обширных водосборных бассейнах. Это свойство, с другой стороны, дополняется исключительно высокой солнечной радиацией, открытостью всем ветрам, большим испарением, мелководностью и природными процессами характерной водной биосистеме, которые в совокупности создают высокий опресняющий эффект, характерный для бессточных водоемов. Несмотря на такое неординарное свойство природы, весь эволюционный процесс человеческого развития показывает, что в аридных географических зонах ранние цивилизации возникали в низовьях крупных рек с благоприятными природно-климатическими и эколого-энергетическими условиями – Тигр и Евфрат в Месопотамии, Нил в Египте, Инд и Ганг в Индостанском полуострове, Хуанхэ и Янцзы в Китае, Сырдарья и Амударья в Центральной Азии. На всех этапах развития этих цивилизаций водные ресурсы играли главенствующую роль, и гидрологический режим рек во многом определял эколого-экономические успехи еще древних цивилизаций.

Еще в V веке до нашей эры Пиндар (518-442 или 438 г. до нашей эры) сказал: «Вода – вот лучшая из вещей». Это утверждение неувдительно, особенно, если учесть что вода была одним из самых драгоценных товаров во всей истории человечества. Уже в античную эпоху человек предпринимал попытки управления водным режимом рек, умел соизмерить масштабы хозяйственной деятельности с режимом водосточника.

Широкое развитие антропогенной деятельности от зоны формирования и базиса стока эрозии, резко нарушало практически все естественные процессы: изменило режим постоянных и временных водотоков основных речных систем Центральной Азии, многократно усилило геохимические потоки за счет вовлечения в активный круговорот огромную массу соли, ранее «захороненных» природой; в пределах бассейна рек и прилегающих к ним территории изменились микроклимат, почвенные, биологические, гидрогеологические и экологические процессы.

В связи с этим, с проблемами регулирования гидрологического режима водотока, появились экологические - связанные с угрозой ус-

тойчивости биосферы и падения плодородия почв, возникшие в результате антропогенной деятельности, к которым можно отнести объекты крупного гидротехнического и водохозяйственного строительства, а также развивающееся орошение земель вдоль бассейна рек, что являются весьма мощными факторами разрушающих сбалансированность развития экосистемы. Это воздействие соизмеримо с геологическими факторами, изменяющими динамическое равновесие состояния естественных гидрохимических потоков.

В связи с этим, в настоящее время функционирование водоемов и водотоков исследуются четырьмя основными науками /3/:

- гидрологией, которая изучает физические явления и процессы, происходящие в водных объектах;
- гидробиологией, которая изучает водное население в единстве с его средой, как живой компонент блоков биосферы;
- гидрохимией, которая изучает динамику химического состава природных вод, для установления генетических зависимостей от явлений определяющих их характер;
- экологией, которая изучает отношения организмов между собой и с окружающей их неорганической природой.

Следовательно, развитие науки о воде, вместе с эволюционными процессами развития человечество, шло от общего к частному и от частного к всеобъемлющему общему. Такой ход изучения природных объектов обусловлен развитием науки о природе, которая базируется на фундаментальных законах формирования и устойчивости экологических систем, с использованием методов рациональной эксплуатации природных ресурсов.

В связи с этим, в настоящее время появилось такое научное направление, как гидроэкология, которая объединяет гидрологию, гидробиологию, гидрохимию и экологию, целью которого является нахождение путей согласованного с природой воздействия человека на водоемы и водотоки с учетом законов их функционирования в природной системе. Ее задачами являются обобщение данных гидрологических, гидробиологических, гидрохимических и экологических исследований, с целью разработки методологии оценки и прогнозирования возможных изменений количественных и качественных характеристик водоемов и водотоков, для выявления основных природных закономерностей и антропогенных факторов преобразования и реакции природных компонентов бассейна рек.

Таким образом, экологическое обеспечение жизнедеятельности человека и среда его обитания, как главная ценность ограничивающая антропогенную деятельность самого человека, характеризуются исследованиями по зависимости:

$$ЭОЖЧ = (ВТ, ГЭ, НХБ), \quad (1)$$

- где: *ЭОЖЧ* - показатель, характеризующий экологическое обеспечение жизнедеятельности человека;
- ВТ* - показатель, характеризующий воднотранспортные ресурсы реки;
- ГЭ* - показатель, характеризующий гидроэнергетические ресурсы реки;
- НХБ* - показатель, характеризующий уровень народно-хозяйственного водообеспечения ресурса реки.

Проблема гидроэкологии - это при использовании водных ресурсов в хозяйственной деятельности не допустить возникновения реальной угрозы необратимых природно-экономических ущербов и недопустимого ухудшения условий жизни населения. Отсюда, вытекают главные задачи гидроэкологии - нахождение реальных и надежных путей согласованного взаимодействия человеческой деятельности с водными объектами и законами их функционирования, на основе установление взаимосвязей между гидрологическими, гидрохимическими и гидробиологическими факторами, явлениями и процессами. В связи с этим, основными целями гидроэкологии являются, во-первых, разработка научных и методологических основ рационального природопользования и природообустройства, направленных на сохранение, и при необходимости восстановление, водных ресурсов с надлежащим их качеством и биологической продуктивностью, обеспечивающих необходимые человеку экологические условия и, во-вторых, выбор критериев и нормативов экологических требований, определяющих и ограничивающих допустимую антропогенную нагрузку на водоем и водотоки, а также их водосброса. Таким образом, гидроэкология, опираясь на развитии естественных наук (гидрологии, гидробиологии, гидрохимии, экологии и др.), представляет собой принципиально новую отрасль знаний, интегрирующую и связывающую физические, химические и биологические факторы, явления и процессы и, образующую мост между системой использования и охраны водоема и водотока. В связи с этим, в целях сохранения и нормального функционирования водоема и водотоков, возникает необходимость установления гидроэкологических нормативов. Следовательно, для нормального функционирования водоема и водотоков, у науки гидроэкологии в условиях системы комплексного природопользования и природообустройства, согласно закона экологии - «вид организма может существовать до тех пор и постольку, поскольку окружающая его природная среда соответствует генетическим возможностям приспособления этого вида к ее колебаниям и изменениям», должны быть свои допустимые пределы входящих в нее компонентов и характеристик. При этом, учитывая большую экологическую значимость использования водных ресурсов, критерии устойчивости природной среды в условиях антропогенной деятельности должны проявиться в противостоянии гидроэкологически негативным техногенным

явлениям, на основе глубокого познания закономерностей этих природных процессов.

В качестве критериев устойчивости компонентов экосистемы впервые санитарно-эпидемиологической службой использованы предельно допустимых концентрации (ПДК) отдельных химических и органических веществ в питьевой воде, а для оценки допустимости воздействия различных факторов на окружающую природную среду, с целью определения допустимого порога вредных воздействий и учета значимости «доза - ответная реакция», принят параметр предельно допустимой экологической нагрузки (ПДЭН), а для анализа изменений гидрохимических процессов при водохозяйственной деятельности и орошения, с учетом ритмов геологического и биологического круговоротов, введены понятие экологической устойчивости ландшафтов и бассейнов (КЭУ) /4,5,6/.

Большое значение для гидроэкологии имеет критерий предела устойчивости экосистемы, для обоснования регламентации оставляемых в реках неприкосновенных расходов воды, с целью резервирования качественного природного стока, с учетом интересов народного хозяйства и охраны окружающей среды.

Как известно, изменение параметров геосистемы в естественных условиях ограничено определенными пределами, регламентируемые природой, которая и обуславливает гидроэкологическое равновесие, обеспечивающая способность функционирующей экосистемы возвращаться к прежнему состоянию.

Для оценки ритмического функционирования гидроэкологической системы необходимо определить все существующие изменения биологических, физических и химических компонентов водного объекта в результате антропогенной деятельности человека. Нормальное состояние функционирования водной экосистемы соответствует средним многолетним значениям ее гидрологических (Q_0), биологических (B_0) и химических (C_0) параметров. При этом биологический (B_0) и химический (C_0) режим водоема и водотока в основном зависит от гидрологических (Q_0), а именно от уровня использования водных ресурсов в народнохозяйственных целях (Q_i), т.е. $B_0 = f(Q_i / Q_0)$ и $C_0 = f(Q_i / Q_0)$ (таблица).

Как известно, река, не только поток воды в разработанном ею русле, но и является интегрирующим показателем водности бассейна, качества и жизни воды в нем, обусловленный как физико-географическими, так и химическими, биологическими и антропогенными факторами на ее водосборе и в русле, эволюционный путь развития которой заканчивается превращением ее в цепь водоемов. Поэтому,

Критерии оценки состояния компонентов гидрозкосистемы

Вид природных факторов	Показатели компонентов гидрозкосистемы	Вид математических моделей	Критерии оценки компонентов гидрозкосистемы
1	2	3	4
Гидрологические	Площадь зеркала воды в водоеме (F)	$F = f(z)$	$\bar{F} = F_t / F_{t+1}$
	Объем воды в водоеме (W_o)	$W_o = f(z)$	$\bar{W}_o = W_o^t / W_o^{t+1}$
	Объем воды в реке (W_p)	$W_p = \Omega \cdot L$, где Ω - площадь поперечного сечения реки; L - длина реки	$\bar{W}_p = W_p^t / W_p^{t+1}$
	Средняя глубина воды в водоеме (h_{cp})	$h_{cp} = W_o / F$	$\bar{h}_{cp} = h_{cp}^t / h_{cp}^{t+1}$
	Отметка воды в водоеме (z_n)	$z_n = z_o + H$, где H - высота уровня воды над условным нулем; z_o - отметка условного нуля водомерного поста	
Гидрохимические	Соленость воды в водоеме (C_o)	$C_o = f(W_o)$	$\bar{C}_o = C_o^t / C_o^{t+1}$
	Минерализация речных вод (C_p)	$C_p = f(W_p, W_o)$, где W_o - объем возвратных вод	$\bar{C}_p = C_p^t / C_p^{t+1}$
	Оценка качества воды (SAR)		$\bar{SAR} = SAR^t / SAR^{t+1}$

Продолжение таблицы

1	2	3	4
Гидробиологические	Солнечная энергия, поступающая на поверхность водоема (R)		
	Суммарная солнечная энергия, поступающая на поверхность водохранилища ($\sum R$)	$\sum R = R \cdot F$	$\sum \bar{R} = \sum R' / \sum R^{i+1}$
	Величина солнечной энергии, используемая в процессе фотосинтеза (K_R), %		
	Количество солнечной энергии, используемой в процессе фотосинтеза, $\sum R_\phi$, МДж	$\sum R_\phi = \sum R \cdot K_R$	$\sum \bar{R}_\phi = \sum R'_\phi / \sum R_\phi^{i+1}$
	Количество образующегося органического вещества (в сухой массе), V_Π , т.	$V_\Pi = f(W_\phi, \sum$	$\bar{V}_\Pi = V'_\Pi / V_\Pi^{i+1}$
Гидрометеорологические	Высота солнца (h_o)	$h_o = (90 - \varphi) \pm \sigma$, где φ - широта места	
	Мощность фотического слоя (h_ϕ)	$h_\phi = f(P, h_o)$, где P - прозрачность воды	

1	2	3	4
	Отметка нижней границы фотического слоя (z_{ϕ})	$z_{\phi} = z_a - h_{\phi}$	
	Объем водоема по нижней границе фотического слоя ($W_{ГФ}$)	$W_{ГФ} = f(H - h_{\phi})$	
	Объем фотического слоя (W_{ϕ})	$W_{\phi} = W_a - W_{ГФ}$	
Экологические	Коэффициент использования водных ресурсов рек ($KНВ$)	$KНВ = Q_i / Q_{cp}$, где Q_{cp} - средний многолетний сток реки; Q_i - объем водозабора из реки;	
	Коэффициент разбавления воды водоема стоками рек ($KРВ$)	$KРВ = W_{п} / W_a$, где $W_{п}$ - объем воды поступающих в водоем	
	Коэффициент гидрологической устойчивости ландшафтов и бассейнов ($KГЭУ$)	$KГЭУ = f(ПЭА)$	

основываясь законом экологии – «вещество, энергия, информация и качество отдельных природных систем взаимосвязаны настолько, что любое изменение одного из этих факторов вызывает функциональные, структурные, качественные и количественные перемены всех систем и их иерархии», можно констатировать, что изменения гидрологических и гидрохимических режимов водотока в результате антропогенной

деятельности человека, всегда и очень сильно оказывают влияние на функционирование других компонентов природной среды бассейна рек.

В связи с этим, коэффициент использования водных ресурсов (КИВР) сельскохозяйственных, промышленных и коммунально-бытовых объектов, можно принять как параметра экологически антропогенных нагрузок в бассейне рек (КЭАН), т.е. КИВР=КЭАН.

Тогда, критерии оценки уровня изменения компонентов гидросистемы $(\bar{F}, \bar{W}_0, \bar{W}_P, \bar{h}_{cp}, \bar{C}_0, \bar{C}_P, \bar{SAR}, \bar{V}_n)$, можно рассматривать в отдельности или совокупности, как коэффициент гидрoэкологической устойчивости (КГЭУ) бассейна рек:

$$\varphi = КГЭУ = (\bar{F}, \bar{W}_0, \bar{W}_P, \bar{h}_{cp}, \bar{C}_0, \bar{C}_P, \bar{SAR}, \bar{V}_n) = f(ПЭАН) \quad (2)$$

Основным подходом к решению этих задач является функциональный подход, то есть рассмотрение компонентов экосистемы как единое целое. Его математическое описание можно составить исходя из знания потоков веществ и энергии, поступающих в природную систему. Прежде, чем поставить задачи об устойчивости экосистемы, возникающих в результате антропогенной деятельности человека, необходимо рассмотреть некоторые принципы и законы биологи, на основе которых можно осуществить решение поставленных задач. По Н. Рашевскому [7], в биологии сформулированы следующие принципы:

1. Принцип соответствия – конструкция организма соответствует внешней среде.
2. Принцип максимальной простоты – для устойчивых организмов конструкция его является простейшей для выполнения данных функций.
3. Принцип оптимальности – конструкция органа оптимальна по затратам материала на его построение и энергии его работы.
4. Принцип адекватности изменения – конструкция организма изменяется адекватно со средой.
5. Принцип биологического эпиморфизма – свойства различных организмов могут рассматриваться как взаимно-однозначные отображения, то есть множеству свойств одного организма могут быть поставлены в соответствие свойства другого.

При этом пятый принцип наиболее важен для построения математической модели экосистемы, так как он дает возможность использовать математический подход к описанию сходства между факторами природной среды. По Н. Рашевскому, «каждому организму соответствует некоторый топологический комплекс или топологическое пространство. Высшим организмом соответствуют комплексы или пространства более сложной структуры. Топологические комплексы или пространства, соответствующие различным организмам, получаются

друг из друга при помощи универсального правила геометрического преобразования и могут быть отображены друг на друга много-однозначным способом с сохранением некоторых основных соотношений».

Таким образом, основываясь на пятом принципе, можно предположить, что преобразование, приводящее функции устойчивости компонентов экосистемы к одному виду, будет единым для всех компонентов и всех факторов природной среды. В этих условиях, математические задачи состоят в том, чтобы найти такое преобразование. Кроме того, если преобразование координат фазового пространства факторов или компонентов окажется линейным для всего множества факторов природной системы, то можно считать, что изменения компонентов природной среды в результате антропогенной деятельности человека подчиняются одному закону. Поэтому здесь можно предположить, что при каком либо значении фактора или компонента ни была взята частная кривая изменений устойчивости экосистемы (S_φ), при фиксации остальных компонентов экосистемы $\varphi = 2, 3, \dots, n_{\text{ост}}$, линейное преобразование всех частных кривых и наложение их друг на друга приведет к обобщенной четко выраженной кривой с допустимым разбросом опытно-производственных данных.

Прежде чем ставить задачу описания устойчивости экосистемы по ℓ -ному фактору природной среды в i -тый момент времени, введем обозначения: S_i — степень изменения компонентов природной системы по φ_i -му фактору.

Формулировка задачи вытекает из анализа закономерности изменения компонентов природной среды согласно законам природы, что дает возможность предположить, что изменение устойчивости компонентов экосистемы $\partial S / \partial \varphi$ пропорционально уровню использования ресурсов природной среды φ и отклонению значения фактора от естественного состояния ($\varphi_{\text{max}} - \varphi$).

В самом деле, чем меньше степень использования природных ресурсов, тем меньше $\partial S / \partial \varphi$, т.е. уменьшение уровня использования природных ресурсов приводит к незначительному отклонению S_{max} . В тоже время, чем больше условия отклоняются от максимально возможных ресурсов природной среды, т.е. чем меньше $(\varphi_{\text{max}} - \varphi)$, тем менее устойчива экосистема. С другой стороны, при максимально возможных уровнях использования природных ресурсов $(\varphi_{\text{max}} - \varphi) = 0$, $\partial S / \partial \varphi = 0$ существует некоторая точка S_{max} при $\varphi = \varphi_{\text{max}}$.

Учитывая сказанное выше, уравнение связи S и φ можно записать для i -го момента времени в виде:

$$\partial S / \partial \varphi = k(\varphi_{\max} - \varphi), \quad (3)$$

где k - коэффициент пропорциональности, приводящий в соответствие размерности правой и левой частей и характеризующий возможность саморегулирования экосистемы в стадиях разрушения и восстановления.

Решая уравнение (3) и проведя некоторые преобразования, получим зависимость следующего вида:

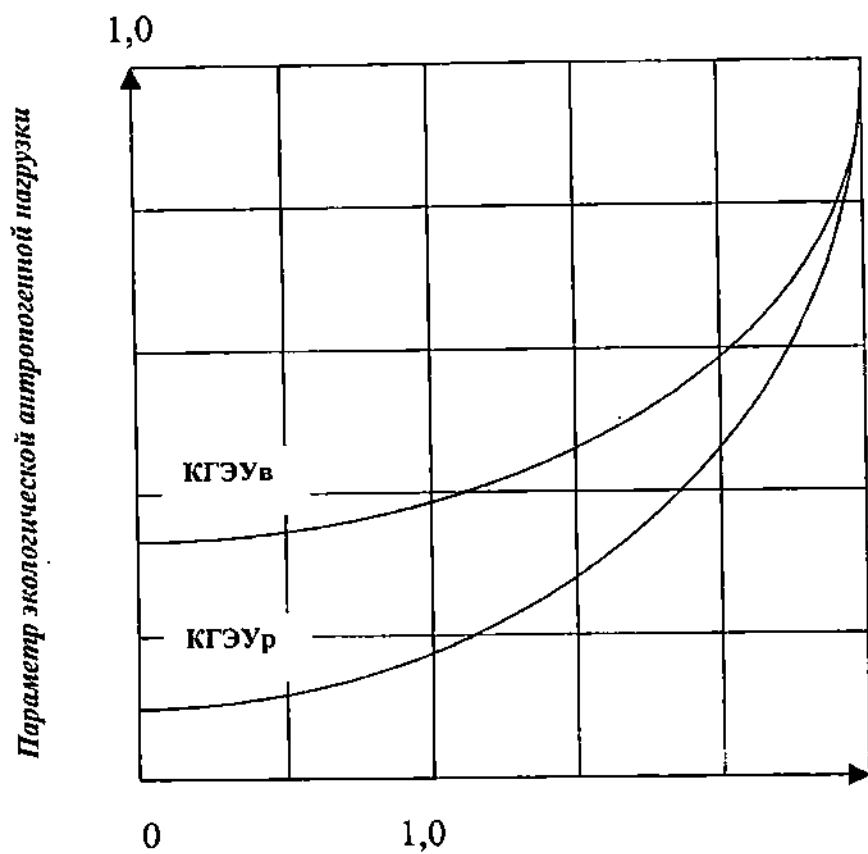
$$КГЭУ = \frac{S_i}{S_{\max}} = 1 - \exp \left[-k \left(\frac{\varphi_i - \varphi_{\min}}{\varphi_{\max} - \varphi_{\min}} \right) \right], \quad (4)$$

описывающий характер изменения природной среды в результате антропогенной деятельности (рис.) (где φ_{\max} - максимально возможная величина i -го фактора; φ_{\min} - не пригодные или не используемые величины i -го фактора).

Таким образом, полученная зависимость характеризует уровень гидроэкологической устойчивости от безразмерной величины любого фактора в i -ый момент времени. При этом согласно законам экологии: «экосистема, потерявшая часть своих элементов не может вернуться в первозданное состояние». В связи с этим, коэффициент пропорциональности (k) характеризующий уровень саморегулирования природного процесса в стадиях их разрушения и восстановления будут качественно разными, и в целом соответствуют определенным количественным характеристикам. Связь между ними не жесткая. Количественное изменение не сразу ведет к изменению состояния, так как даже простейшая подсистема сама является более простой системой с набором меньших подсистемы. Поэтому снижение устойчивости еще не ведет к нарушению подсистемы в целом. Такая буферность допускает количественное колебание без изменения качества, сохраняя сбалансированность состояния природной системы. Однако, при достижении определенной для каждой системы границы, когда большая часть элементов потеряла устойчивость, количественные изменения вызывают качественные.

Представленная модель гидроэкологической устойчивости экосистемы является одним из возможных вариантов описания уровня экологического состояния природных объектов в зависимости от условий интенсивности использования природных ресурсов.

Функциональная зависимость $КГЭУ = f(ПЭАН)$



Коэффициент гидроэкологической устойчивости

$КГЭУ_r$ – коэффициент гидроэкологической устойчивости в процессе разрушения природной среды; $КГЭУ_v$ – коэффициент гидроэкологической устойчивости в процессе восстановления природной среды

Рисунок

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Турсунов А.А., Бишимбаев В.К., Карлыханов Т.К., Таупбаев С.Т. Экологические проблемы бессточных водных бассейнов Центральной Азии, Алматы, 1996, 439 с.
2. Достай Ж.Д. Научные основы управления гидроэкологическим состоянием бессточных бассейнов Центральной Азии (на примере бассейна оз. Балхаш). - Автореф. Дис. д.т.н.-Алматы, 1999, 48 с.
3. Яцык А.В., Шмаков В.М. Гидроэкология, Киев, Урожай, 1992, 192с.
4. Парфенова Н.И., Решеткина Н.М. Экологические принципы регулирования гидрохимического режима орошаемых земель, Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 1995, 360 с.
5. Мустафаев Ж.С. Проблемы методологии оценки природно-экологических объектов на основе законов природы //Наука и образование Южного Казахстана, Шымкент, 7(14), 1998, с. 99-105.
6. Мустафаев Ж.С. Почвенно-экологическое обоснование мелиорации сельскохозяйственных земель в Казахстане, Алматы, 1997, 358 с.
7. Рашевский Н. Модели и математические принципы в биологии // Теоретическая и математическая биология. М., Мир, 1968.
8. Шабанов В.В. Влагообеспеченность яровой пшеницы и ее расчет. Л. Гидрометеоиздат, 1981, 142 с.

Таразский Государственный университет им.М.Х.Дулати
Кызылординский государственный университет им.Коркыт-Ата

АҒЫНСЫЗ СУ ҚОРЛАРЫНЫҢ ГЕОЖҮЙЕЛЕРІ ТУРАҚТЫЛЫҒЫНЫҢ ГИДРОЭКОЛОГИЯЛЫҚ МӘСЕЛЕРІ

Техн.ғыл.докторы
Техн.ғыл.докторы
Техн.ғыл.канд.
Техн.ғыл.канд.

У.Қ.Бишімбаев
Ж.С.Мұстафаев
С.Т.Таупбаев
А.Т.Қозыкеева
А.Ж.Мұстафаева
М.К.Ешмаханов
К.Ж.Мұстафаев

Қолданбалы экологияның құрамына кіретін су көздері және көлдердің табиғи қорларын пайдалану барсындағы өзгеріске түсетін олардың гидрохимиялық және гидробиологиялық қасиеттерін зерттеуге бақытталған гидроэкология іліміне анықтама бере отырып, оның тұрақтылығын анықтауға арналған әдістемелік бейнесі берілген.