

УДК 631.6

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

Ж.С. Мустафаев *
А.Т. Козыкеева *
К.Ж. Мустафаев *
С.Д. Даулетбай *

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОДОСБОРОВ
БАСЕЙНА РЕКИ ШУ ПРИ ИХ КОМПЛЕКСНОМ
ОБУСТРОЙСТВЕ**

*ПРИРОДА, ЭКОЛОГИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ, ОБУСТРОЙСТВО, РЕЧ-
НОЙ БАСЕЙН, КРИТЕРИЙ, ПРОЦЕСС, ОЦЕНКА, ВОДОСБОР*

Для экологического обоснования обустройства речных бассейнов разработан и осуществлен выбор интегральных критериев оценки природных процессов и на их основе определена степень взаимодействия с бассейном реки Шу (Чу).

Введение. Главная природная функция речного бассейна – стокообразующая, и в этом принципиальная важность такого членения территории. Помимо этого, речные бассейны – это особым образом объединенные геосистемы (принцип объединения здесь – единство гидрогеохимических потоков, имеющих один объект для своей разгрузки). Наконец, речные бассейны – это пространственный базис для природопользования (размещения земель разного назначения) и природообустройства. При этом сравнение системы образования водотоков на ландшафтную систему речных бассейнов показывает, что границы ландшафтов и их совокупностей пересекают трассы водотоков, что свидетельствует о несовпадении границ ландшафтов и речных бассейнов.

Уникальность речных бассейнов как природных объектов определяется тем, что они формируются в условиях высокой динамичности не только русловых и аллювиальных процессов, но и гидротермического режима, и периодически находятся, то в аэральных, то в аквальных условиях. Двойственность гидротермического режима, обусловленная разнообразием и богатством природных ресурсов бассейна р. Шу, дает основание рассматривать ее, как особую природную систему, включающую две взаимосвязанные экосистемы – наземную и водную.

* Таразский ГУ им. М.Х. Дулати, г. Тараз

Для решения экологических проблем бассейна трансграничной реки Шу важно: рассматривать и изучать водосборы в виде геосистем определенного ранга, включающих взаимообусловленный набор компонентов и развивающихся как единое целое; разрабатывать модели, описывающие основные процессы функционирования водосборов с возможно большим набором параметров, учитывающих изменения компонентов геосистем водосборов в условиях антропогенной деятельности человека.

В связи с этим А.И. Голованов предлагает расширение предметной области исследования мелиорации [2]: рассмотрение мелиорации, как базисного элемента комплексного обустройства; применение мелиоративных мероприятий для повышения экологической устойчивости водосборов; учет при промываемости почв; разработку способов расчета водообмена и обоснование мелиорации в бассейнах рек в связи с развертыванием природно-производственного комплекса для обеспечения продовольственных и производственных потребностей человека.

Целостность геосистемного подхода требует четкого определения объекта исследования, т.е. объектом исследования выбран водосбор, являющийся интегральным выражением устойчивых взаимосвязей между компонентами геосистемы и земной поверхностью. Водосбор рассматривается как геосистема, объединенная по принципу единства гидрохимических потоков и выполняющая средообразующие или экологические функции [2].

Цель и методика исследования. Изучение современного состояния водосборов бассейна р. Шу с целью выявления природно-экологических проблем и перспектив комплексного обустройства их территорий.

Методика предусматривает составление природно-техногенных характеристик, учитывающих природно-экологические ресурсы водосборов и на их основе совершенствование экологической инфраструктуры водосборов бассейна р. Шу.

Результаты исследований. Р. Шу, длиной 1067 км, протекает по территории Кыргызской Республики и Республики Казахстан, где площадь водосбора бассейна составляет 71,6 тыс. км². Шу образуется слиянием рек Кочкор и Джуванарык в Тянь-Шане; течет по Иссык-Кульской котловине, Чуйской долине, пересекает пустыню Муюнкум; теряется во впадине Ащиколь. Средний расход воды около 70 м³/с, который используется в основном для орошения. На реке построены водохранилища Ортокойское (Киргизия) и Тасоткельское (Казахстан), и другие ирригационные сооружения. Основные притоки: справа – Чон-Кемин, Ыргайты, Какпатас; слева – Аламедин, Аксу, Курагаты.

Бассейн реки занимает площадь 200,36 тыс. км², из них 164,56 тыс. км² – на территории Казахстана [2].

Численность населения в бассейне р. Шу составляет 1,4 млн. человек, из них в сельской местности проживает – 883,0 тыс. человек, а в городской – 542,1 тыс. человек.

В бассейне р. Шу под сельскохозяйственными угодьями занято порядка 78 %, под пашней – 13 % площади.

Общая площадь орошаемых земель составляет 473,4 тыс. га. Основные орошаемые земли сосредоточены в средней части Шуйской долины – 435,1 тыс. га. В верховьях р. Шу сосредоточено 33,1 тыс. га и только 5,2 тыс. га в ее низовьях.

Количественная оценка стока р. Шу обобщена на основе материалов наблюдений Кыргызгидромета за период 1980...2002 годы и метода аналогии для рек, на которых отсутствуют данные наблюдений (табл. 1).

Таблица 1

Обобщенная количественная оценка эксплуатационных водных ресурсов бассейна реки Шу

Республика	Водные ресурсы (км ³)			
	в зоне формирования	источник типа «Карасу»	возвратные воды	эксплуатационные ресурсы
Кыргызстан	3,20	1,29	0,81	5,30
Казахстан	0,38	-	-	0,38
Всего	3,58	1,29	0,81	5,68

Располагаемые водные ресурсы р. Шу составляют $W_p = 4,87 \text{ км}^3$, а с учетом возвратных вод $W_p = 5,68 \text{ км}^3$.

Формирование климата бассейна р. Шу осуществляется во взаимодействии с общепланетарной циркуляцией, радиационными условиями и особенностью подстилающей поверхности [1].

Горные зоны бассейна обладают относительно низкой теплообеспеченностью ($\sum t = 514...834 \text{ }^\circ\text{C}$), невысокими теплоэнергетическими ресурсами ($R = 88,2...100,5 \text{ кДж/см}^2$) и высокой влагообеспеченностью ($O_c = 362...698 \text{ мм}$).

Предгорные зоны бассейна обладают относительно средней теплообеспеченностью ($\sum t = 1513...2015 \text{ }^\circ\text{C}$), невысокими теплоэнергетическими ресурсами ($R = 127...146 \text{ кДж/см}^2$) и высокой влагообеспеченностью ($O_c = 378...513 \text{ мм}$).

Предгорные равнинные зоны бассейна обладают относительно высокой теплообеспеченностью ($\sum t = 2060 \dots 3300 \text{ }^\circ\text{C}$), достаточными теплоэнергетическими ресурсами ($R = 148 \dots 200 \text{ кДж/см}^2$) и низкой влагообеспеченностью ($O_c = 200 \dots 426 \text{ мм}$).

Равнинные зоны бассейна обладают достаточно высокой теплообеспеченностью ($\sum t = 3500 \dots 3900 \text{ }^\circ\text{C}$), высокими теплоэнергетическими ресурсами ($R = 200 \dots 219 \text{ кДж/см}^2$) и очень низкой влагообеспеченностью ($O_c = 100 \dots 139 \text{ мм}$).

Систематизация водосборов бассейна реки Шу выполнена на основе методологии географического подхода в мелиорации, т.е. рассмотрение необходимости мелиорации больших территорий с учетом географических показателей. С этой целью проведен анализ и разработаны классификации водосборов по природно-климатическим и физико-географическим показателям.

В зависимости от географического положения территории бассейна реки Шу ярко проявляется определяющая роль природно-территориального комплекса или факторов функционирования природных систем. Это положение хорошо прослеживается в ландшафтах бассейна реки Шу [2].

Пустыни широко распространены в низовье р. Шу, где растут полыни, солянки и ксерофильные кустарники с глубокими корневыми системами. Соответствующие этой растительности серо-бурые почвы имеют преимущественно легкий механический состав.

В полупустынях Шуйской долины, где наблюдается весенний максимум увлажнения почвы, формируется богатая весенняя растительность из пустынной осоки, мятлика луковичного, тюльпанов, луков и многочисленных однолетников весенней вегетации, а также полыни. Образующиеся под этой растительностью почвы – сероземы – представляют зональный почвенный тип.

В предгорных равнинах широкое распространение получили лугово-сероземные и сероземно-луговые почвы, которые сформировались в условиях повышенного залегания грунтовых вод. Для них характерны злаково-полынные разреженные травостои.

Для предгорных равнин и шлейфов Шуйской долины характерны злаково-полынные разреженные травостои с проективным покрытием почвы 25...30 %. По фону предгорных травостоев широкое распространение получили каштановые почвы.

В среднегорьях, где широко распространены дерновинные злаки – типчаки, ковыли, ячмень, овёс, создается достаточно прочное задернение поверхности почвы. Почвы среднегорья – темно-каштановые и горные черноземы. Горно-луговые почвы распространены на высотных уровнях от 1600...1800 до 3500 м над уровнем моря.

Горно-луговые альпийские почвы, сформировались под низкотравными осоково-кобрезивыми, разнотравно-осоковыми, разнотравными и разнотравно-злаковыми травостоями на абсолютных высотах более 3000 м с высоким содержанием грубого гумуса.

Почвенный покров бассейна р. Шу отличается большим разнообразием, обусловленным климатической неоднородностью территории и горно-равнинным рельефом.

Природно-климатические показатели водосборов характеризуются: гидротермическим коэффициентом ($ГТК = 10 \cdot O_c / \sum t$), показателем увлажнения ($M_d = O_c / \sum d$), коэффициентом увлажнения ($K_y = O_c / E_o$), оценкой увлажнения ($K_o = O_c / 0,18 \sum t$), индексом сухости ($\bar{R} = R / LO_c$), биолого-климатической продуктивностью ($БКП = K_y (\sum t / 1000)$) (табл. 2).

Таблица 2

Гидролого-климатическая оценка тепло- и влагообеспеченности бассейна реки Шу [2]

Метеостанция	H, м	Среднегодовые за многолетний период					
		\bar{R}	ГТК	БКП	K_y	M_d	K_o
Горный класс ландшафтов							
Тюя-Ашу	3090	0,52	13,6	1,79	3,49	1,34	75,5
Каракуджар	2800	1,16	4,34	0,73	0,88	0,36	24,1
Предгорный подкласс ландшафтов							
Байтык	1579	1,03	3,39	1,30	0,86	0,32	18,8
Кордай	1145	3,30	0,89	0,87	0,30	0,12	4,9
Предгорный равнинный подкласс ландшафтов							
Бишкек	756	2,10	1,16	1,36	0,40	0,17	6,4
Мерке	730	3,40	0,84	1,32	0,29	0,11	4,7
Равнинный класс ландшафтов							
Толе би	456	7,10	0,36	0,48	0,13	0,04	2,0
Мойынкум	351	7,70	0,39	0,44	0,13	0,05	2,2
Камкалы-кол	207	11,0	0,36	0,47	0,12	0,04	2,0

Для территории бассейна р. Шу вычислены значения и построены соответствующие изолинии. Полученные изолинии наложены на карту водосборов бассейна, определены значения соответствующих параметров теплового обеспечения применительно к ландшафтными зонами исследуемых водосборов и составлена классификация водосборов по природно-климатическим показателям (табл. 3).

Таблица 3

Классификация водосборов бассейна р. Шу по природно-климатическим показателям

Группа по индексу сухости ($\bar{R} = R / LO_c$)	Подгруппа по коэффициенту увлажнения возвышенной фации	Водосбор
Горный класс ландшафтов	увлажненные ($\bar{R} = 0,52...1,16$)	Кочкор, Джуванарык
Предгорный подкласс ландшафтов	неувлажненные ($\bar{R} = 1,26...3,30$)	Чон-Кемин, Ыргайты, Какпатас, Аламедин, Аксу, Курагаты
Предгорный равнинный подкласс ландшафтов	засушливые ($\bar{R} = 2,10...4,80$)	
Равнинный класс ландшафтов	сухие ($\bar{R} = 7,10...12,6$)	

Параметры теплового обеспечения не учитывают местный сток, приток и отток влаги в пониженные фации катен водосборов и, соответственно, показывают степень увлажнения территорий водосборов, относительно их возвышенных фаций.

Анализ и классификация водосборов по физико-географическим показателям осуществлены по особенностям их рельефа, почв, климатическим условиям, гидрологическим условиям и типам растительности (табл. 4).

Приведенные классификации в целом совпадают, т.е. первая классификация опирается на относительные значения (например: степень увлажнения), а вторая – на абсолютные значения (например: влажность воздуха). В силу этого наблюдаются небольшие несоответствия между классификациями, и необходимо определиться с основной классификацией.

Для комплексного обустройства больше подходит классификация по природно-климатическим показателям, объединяющая водосборы и их катены в однотипные ландшафтные группы по наиболее значимым показателям по теплового обеспечения. Согласно этой классификации

можно обосновать водные мелиорации и оптимизацию инфраструктуры водосборов при их комплексном обустройстве.

Таблица 4

Классификация водосборов по физико-географическим показателям

Физико-географическое районирование			Водосбор
зона	республика	область	
Горный класс ландшафтов	Кыргызстан	Шуйская	Кочкор, Джуванарык
Предгорный под-класс ландшафтов	Кыргызстан, Казахстан	Шуйская	Чон-Кемин, Ыр-гайты, Какпатас, Аламедин, Аксу, Курагаты
Предгорный равнинный подкласс ландшафтов	Казахстан	Жамбылская	
Равнинный класс ландшафтов	Казахстан	Жамбылская, Южно-Казахстанская	

Классификация по физико-географическим показателям применена для схематизации природных условий водосборов при разработке моделей их функционирования. С учетом этой классификации можно разработать структуру водосбора, где границы катен, как простейших и неделимых частей водосбора, совмещаются с границами физико-географических районов в пределах соответствующих водосборов.

Катенарный подход предполагает геоморфологическую схематизацию ландшафтных катен водосборов. При геоморфологической схематизации ландшафтных катен водосборов, с целью обоснования мелиораций, каждый водосбор в пределах одного физико-географического района представлен катеной, состоящей из четырех фаций с разным высотным взаиморасположением, определяемых глубиной расчленения рельефа: элювиальной, транзитной и супераквальной [6]. Супераквальная фация примыкает к водотоку – субаквальной фации. При наличии у водосборов протяженных склонов транзитная фация делится на трансэлювиальную и трансаккумулятивную фации (рис.).

Такая схематизация ландшафтной катены позволяет обосновать мелиорацию с учетом:

- типов водного питания в фациях катены (например, по А.Д. Брудастову: атмосферный тип питания – элювиальной, делювиальный или грунтовый для супераквальной фаций);

- размеров и форм рельефа, геологического сложения современных четвертичных отложений фаций катены применимо к различным физико-географическим (ландшафтным) районам.

В этом случае, катена с фациями представляется как элементарный водосбор со многими характерными его особенностями. В первую очередь с региональными особенностями, влияющими на дифференциацию свойств фации по их местоположению.

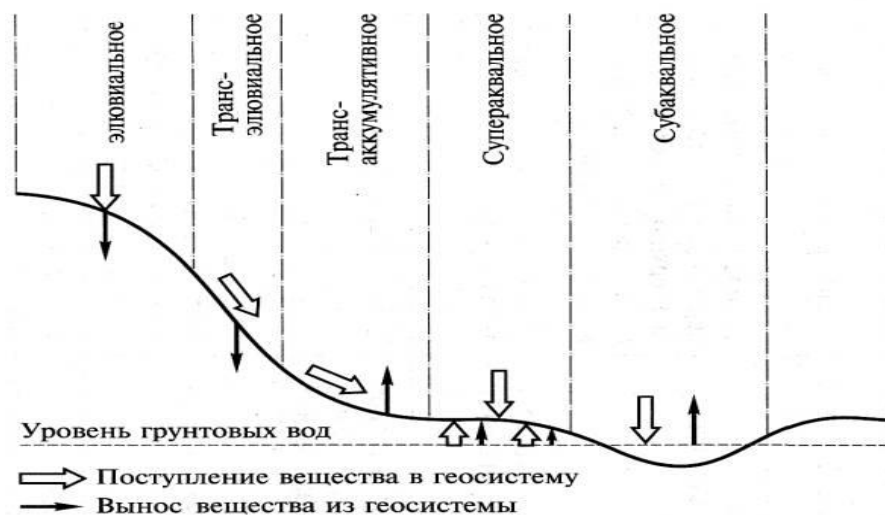


Рис. Геоморфологическая схематизация ландшафтной катены водосбора.

Оптимальные мелиоративные режимы определяются для каждой фации катены, т.е. для элювиальной фации это могут быть оросительные, а для супераквальной наоборот – осушительные мелиорации.

Сконструировать геоморфологическую схему ландшафтных катен можно используя эколого-мелиоративный потенциал ландшафта, характеризующего работу, совершаемую жидкостью в процессе выпадения атмосферных осадков к отношению концентрации почвенного раствора, т.е. их можно рассматривать как способность системы «почва – грунтовые воды» и верхнего слоя почвы освобождаться от легкорастворимых солей:

$$\bar{M} = \bar{A}_n / \bar{C}^*$$

где \bar{M} – эколого-мелиоративный потенциал или мелиоративный показатель ландшафта; \bar{A}_n – работа, совершаемая в элементарном объеме потоком инфильтрационных вод в почвенном слое; \bar{C}^* – средняя концентрация солей в системе «поверхностная вода – почва – грунтовая вода» [3]:

$$\bar{A}_n = O_c / \left[\frac{R}{L} - (1-t) \frac{R}{L} (1-\Delta) \right],$$

$$\bar{C}^* = \left[C_0 + (1-t) \frac{R}{L} (1-\Delta) \frac{C_z}{O_c} \right] / C_{don},$$

где C_0 – начальная концентрация почвенного раствора в почвенном слое; C_{don} – допустимая концентрация солей в почвенном растворе, которая соответствует параметру незасоленных почв; C_z – концентрация солей в грунтовых водах; $(1-t)$ – время действия инфильтрации ($t = T/365$), T – продолжительность вегетационного периода; Δ – глубина уровня грунтовых вод.

Эта способность природной системы характеризуется эколого-мелиоративными показателями ландшафта речных бассейнов, которые имеют чрезвычайно важное значение в почвенно-мелиоративном районировании ландшафтно-географических зон и обосновании комплексного обустройства водосборов (табл. 5).

Таблица 5
Эколого-мелиоративный показатель ландшафтной системы бассейна р. Шу

Метеостанция	H , м	C_0 , г/дм ³	C_z , г/дм ³	Δ , м	\bar{A}_n	\bar{C}^*	\bar{M}
Горный класс ландшафтов							
Тюя-Ашу	3090	0,30	1,00	10,0	1,67	0,60	-
Каракуджар	2800	0,30	1,00	10,0	0,76	0,60	-
Предгорный подкласс ландшафтов							
Байтык	1579	0,40	1,20	10,0	0,86	0,80	-
Кордай	1145	0,40	1,30	10,0	0,30	0,80	0,38
Предгорный равнинный подкласс ландшафтов							
Бишкек	756	0,50	1,50	6,0	0,41	1,00	0,41
Мерке	703	0,50	1,50	6,0	0,29	1,00	0,29
Равнинный класс ландшафтов							
Толе би	456	0,60	3,30	3,0	0,13	1,70	0,08
Мойынкум	351	0,90	3,50	3,0	0,14	2,00	0,07
Камкалы-кол	207	1,50	6,00	3,0	0,12	2,50	0,05

При этом работа, совершаемая в элементарном объеме почвенного слоя потоком инфильтрационных вод от горных к равнинным зонам постепенно уменьшается, а средняя концентрация солей в системе «поверхностная вода – почва – грунтовая вода», наоборот увеличивается. Следовательно, эколого-мелиоративный потенциал или мелиоративный показатель ландшафта (\bar{M}), подчиняясь закону вертикальной зональности, уменьша-

ется. Эта закономерность показывает формирование процесса засоления почвы в равнинных частях бассейна р. Шу, в результате чего наблюдается ухудшение почвенно-мелиоративного состояния ландшафтов [2].

Важнейшим условием обоснования комплексного обустройства (мелиорации) речных бассейнов является возможность прогнозирования изменения их отдельных элементов и системы в целом в результате хозяйственной деятельности, поскольку без прогноза нет управления природными процессами. При этом нецелесообразно рассматривать внутригодовую динамику состояния природной среды, так как ритмы или амплитуды изменения основных характеристик в пределах одного года значительно превышают многолетние, т.е. оптимальным сроком рассмотрения стратегии управления является 25, 50, 75 и 100 летние циклы.

Кроме того, поскольку природные ресурсы речных бассейнов используются не только в сельском хозяйстве, но и в гидроэнергетике, коммунально-бытовых хозяйствах, промышленности и рыбном хозяйстве, а требования этих отраслей к природным ресурсам не согласуются друг с другом, необходимо наряду с традиционными агротехническими, агрохимическими и гидротехническими мелиорациями рассматривать водохозяйственные и рыбохозяйственные. При таком многоцелевом использовании потенциальных ресурсов речных бассейнов получение экономических результатов должно достигаться при минимальном нарушении природной среды [3].

В последние годы в сфере природопользования произошли значительные изменения, причиной которых стало резкое ухудшение качества окружающей среды речных бассейнов, особенно в нижнем течении. Поэтому при разработке комплексного обустройства водосборов речных бассейнов наряду с экономическими показателями, стали применять и другие целевые показатели – качество природной среды и требования Sustainable development. Решение проблемы комплексного обустройства водосборов речных бассейнов можно достигать на основе построения достаточно простых моделей, включающих единый критерий эффективности и учитывающий не только экономические, но и экологические последствия [5].

Анализ современного экологического кризиса в системе природопользования речных бассейнов позволяет выделить три основных аспекта в области управления природными ресурсами:

- эколого-экономический, связанный с истощением и деградацией возобновляемых природных ресурсов;

- эколого-биологический, обусловленный дестабилизацией биологического вида Homo-Sapiens в результате роста антропогенного воздействия и изменения состояния природной среды;
- социально-политический, причиной которого является противоречия между глобальным (региональным) проявлением загрязнения и деградаций природной среды и частным подходом к их решению [4].

Таким образом, комплексное обустройство речных бассейнов должно учитывать экономические, социальные и политические факторы, из которых только экономические и частично экологические могут быть выражены в денежном исчислении, а социальные и политические факторы, как правило, не поддаются количественной оценке, но должны учитываться при принятии окончательного решения.

Выводы и рекомендации. Анализ методологических подходов и приемов моделирования в мелиорации показал, что исследования по комплексному обустройству водосборов необходимо проводить с использованием всей совокупности существующих методологических подходов в мелиорации, отдавая приоритет геосистемному и катенарному подходам. Необходимо использовать математические модели для описания природных процессов, происходящих в таких сложно организованных системах, как водосборы.

Комплексное обустройство водосборов бассейна р. Шу должно быть многоцелевым, поскольку в хозяйственную деятельность прямо и косвенно оказываются вовлеченными все виды природных ресурсов. Многоцелевой подход в наибольшей степени отвечает требованиям устойчивого развития. При этом приоритетным направлением мелиорации сельскохозяйственных земель бассейна р. Шу является улучшение качества природной среды и экологической устойчивости и стабильности агроландшафтных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ибатуллин С.Р., Мустафаев Ж.С., Койбагарова К.Б. Сбалансированное использование водных ресурсов трансграничных рек. – Тараз, 2005. – 111 с.
2. Мустафаев Ж.С. Адильбектеги Г.А., Сейдуалиев М.А. Экологическая оценка продуктивности ландшафтов бассейна реки Шу (Аналитический обзор). – Тараз, 2004. – 81 с.
3. Мустафаев Ж.С. Методологические и экологические принципы мелиорации сельскохозяйственных земель. – Тараз, 2004. – 306 с.

4. Мустафаев Ж.С., Мустафаев К.Ж., Ешмаханов М.К. Проблемы гидро-экологии: количественная оценка состояния и устойчивости ландшафта. – Тараз: 2010. – 135 с.
5. Савельев А.В. Обоснование комплексных мелиораций пойменных систем (на примере Волго-Ахтубинской поймы) // Мелиорация и гидротехника. – 2005. – №5. – С. 47-52.
6. Хафизов А.Р., Хазипова А.Ф., Шакиров А.В. Геоморфологический анализ равнинных водосборов Западного Башкортостана при их комплексном обустройстве // Проблемы региональной экологии. – М.: 2009. – №5. – С.125-129

Поступила 23.01.2014

Техн. ғылымд. докторы	Ж.С. Мұстафаев
Техн. ғылымд. докторы	Ә.Т. Қозыкеева
Экон. ғылымд. канд.	Қ.Ж. Мұстафаев
	С.Д. Даулетбай

КЕШЕНДІ ҚАЙТА ҚҰРУ КЕЗІНДЕГІ ШУ ӨЗЕНІНІҢ СУ ЖИЙЫНАҚТАЙТЫН АЛАБЫНЫҢ ҚЫЗМЕТІН БЕЙНЕЛЕУ

Шу өзенінің су жийынақтайтын алабының табиғи-қорлық әлеуетін бағалау және талдаудың негізінде, оны қайта құру кезіндегі табиғи қорларды басқару үшін үш негізгі, яғни экологиялық-экономикалық, экологиялық-биологиялық және әлеуметтік-саясаттық мәселелерді қарастыру қажет екендігі анықталған.