

УДК 556.182

ПРИМЕНЕНИЕ СЦЕНАРНОГО ПОДХОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЕ

© 2014 А.Д. Никанорова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию 21.05.2014

В статье описана методология и результаты разработки ГИС-системы с элементами компьютерного моделирования, позволяющая оценить величину водного дефицита в Ферганской долине при различных условиях функционирования водохозяйственной системы верхней части бассейна реки Сырдарья. Были выявлены районы Ферганской долины, где наблюдается нехватка водных ресурсов, рассмотрены причины ее возникновения, связанные с существующей структурой землепользования, а также рассмотрены возможные механизмы повышения устойчивости системы водопользования и ее адаптации к условиям ограниченности водных ресурсов.

Ключевые слова: *Ферганская долина, водные ресурсы, геоинформационная система*

В 1990-х гг. дезинтеграция постсоветского пространства привела к распаду централизованной бассейновой системы управления водными ресурсами. Нарушение партнерских договоренностей между Кыргызстаном и Узбекистаном привело к переходу работы Токтогульского водохранилища с ирригационного на энергетический режим. Осуществляемые попуски в холодный период не только не предусмотрены диспетчерскими правилами эксплуатации Токтогульского гидроузла, но и нарушают принципы многолетнего регулирования стока, и вызывают антропогенное изменение режима стока на протяжении всего течения реки Сырдарья. Наибольшие попуски в межвегетационный период были санкционированы в зимний период 2001/2002 гг., отмеченный рекордный попуск был осуществлен, несмотря на прогнозировавшееся маловодие вегетационного периода 2002 г., что вызвало существенный дефицит водных ресурсов в Ферганской долине [3]. Недостаток водных ресурсов частично компенсируется попусками Андиганского водохранилища, однако существует большая вероятность, что в случае затяжного маловодья и систематического превышения лимитов сбросов в невегетационный период, сопровождающихся сработкой водохранилищ практически до «мертвого» уровня, регион может столкнуться с острым затяжным дефицитом водных ресурсов.

Цель работы: оценка устойчивости функционирования систем водопользования Ферганской долины в условиях деградации комплексного бассейнового управления водными ресурсами р. Сырдарья.

Устойчивость системы водопользования определяется степенью ее уязвимости, а также ее способностью адаптироваться к изменчивым условиям водообеспеченности. Основным критерием оценки служит величина дефицита воды, рассчитанная по доле сельскохозяйственных угодий, которые недополучают воду на орошение при различных условиях обеспеченности водными ресурсами. В данном исследовании применен сценарный подход с возможностями картографического отображения полученных расчетных данных, позволяющий выявить районы, наиболее подверженные последствиям деградации комплексного бассейнового управления водными ресурсами р. Сырдарья в пределах Ферганской долины.

Методология исследования. Для оценки величины водного дефицита в различных районах Ферганской долины была разработана геоинформационная система (ГИС) с элементами компьютерной модели. Интерфейс программы был выполнен в гис-программе Arc GIS-Arc View, база данных сформирована в Microsoft Office Access, а расчеты проводились в Microsoft Office Excel. На начальном этапе работы проводилось дешифрирование аэрокосмических снимков на Ферганскую долину в программе Arc-GIS на основе мультиспектральных снимков Landsat-7 с разрешением 30 м, и данных Google Earth. Применен метод эталонного дешифрирования.

В процессе дешифрирования были выделены полигоны различного назначения землепользования: сельскохозяйственные земли (под хлопчатником, под зерновыми, фуражными, садовыми культурами, рисом), селитебные земли, неиспользуемые земли пустынных и тугайных растительных комплексов. В результате были

Никанорова Александра Дмитриевна, аспирантка. E-mail: Alexandra.nikanorova@gmail.com

сформированы слои «Селитебные зоны», «Основные сельскохозяйственные культуры», «Неиспользуемые земли» (масштаб 1:400000), отображающие структуру землепользования. На основе пространственных данных [8], отображающих сеть каналов, рек и озер Узбекистана, Кыргызстана и Таджикистана, мультиспектральных снимков Landsat-7, цифровой модели рельефа SRTM была построена и отображена сеть водных объектов, расположенных в пределах долины. На основе литературных источников [2, 5, 7] была описана речная система Сырдарьи и определена иерархическая связь каналов. В базу данных были введены основные гидрологические характеристики: для рек – название, средний расход, период паводка, тип питания; для каналов – пропускная способность, средний расход, КПД, протяженность, тип русла, год ввода в эксплуатацию.

В результате исследования в ГИС была запрограммирована ирригационная система Ферганской долины, состоящая из 5 основных групп элементов: крупные водохранилища (Токтогульское и Андижанское), средние и малые водохранилища (Папанское, Каркидонское, Найманское, Тортугальское, Котортольское), центральные магистральные каналы, отходящие от рек Нарын, Карадарья и Сырдарья (Большой Ферганский канал, Большой Андижанский канал, Северный Ферганский канал, Большой Наманганский канал – от Нарына, Южный Ферганский канал, Савай, Андижансай и Шахрихансай – от Карадарьи, канал им. Фрунзе и Ачикуль – от Сырдарьи), сети ирригационных каналов средних и мелких рек, стекающих с горных хребтов (от Нарына по часовой стрелке: Майли-сай, Караункурсай, Кугарт, Талдык, Акбура, Араван, Исфарамсай, Шахмардан, Сох, Гавиан, Исфара, Чартаксай, Гавасай, Разаксай, Коссансай, Намангансай), коллекторно-дренажная сеть с наибольшей плотностью в центральных районах Ферганской долины. Распределение потоков воды и их переброска в системы каналов осуществляется на специальных гидроузлах, крупнейшие из которых

Учкурганский гидроузел (перераспределение стока р. Нарын), Кампырватский гидроузел (перераспределение стока р. Карадарья в верхнем течении), Куйганьярский гидроузел (перераспределение стока р. Карадарья в среднем течении).

Ранжирование полей по их принадлежности к каналам производилось на основе работ проекта Интегрированное Управление Водными ресурсами в Ферганской долине [8], в условиях недостаточной информации – в соответствии с рельефом территории. Для каждого канала была выявлена подвешенная орошаемая территория, в ее пределах были выделены и пронумерованы полигоны для их упорядочивания с точки зрения очереди полива полей.

Для определения приоритетности подачи воды между полигонами полей, орошаемых тем или иным каналом, было проведено гидромодульное районирование территории по методике гидромодульного районирования и режима орошения сельскохозяйственных культур Средней Азии [1, 6]. По картам почвенно-мелиоративного районирования [9] для каждого полигона поля был определен уровень грунтовых вод и механический состав почв. По имеющейся шкале (табл. 1) каждому полигону был присвоен гидромодульный номер, в соответствии с которым определяется очередность полива. В первую очередь орошаются поля с песчаными и супесчаными почвами с глубоким залеганием грунтовых вод (1 и 2 гидромодульные районы), последними орошаются поля с суглинистыми и глинистыми почвами с высоким уровнем грунтовых вод (8 и 9 гидромодульные районы). При определении очередности подачи воды на поля с одинаковым гидромодульным номером дополнительно во внимание принимались такие факторы, как расположение относительно магистрального канала и наличие подводящих каналов (арыков) к полю полигона. Наименьший цифровой индекс имели полигоны у изголовья каналов, а наибольший – полигоны нижней части канала, отдаленные от него.

Таблица 1. Шкала определения гидромодуля по уровню грунтовых вод и механическому составу почв по методике В.Р. Шредера [6]

уровень грунтовых вод	Механический состав почв				
	песчаные	супесчаные	легкие и средние суглинистые	средние и тяжелые суглинистые	глинистые
>3 м	1	2	2	3	3
2-3	4	4	5	5	5
1-2	6	6	7	7	7
<1	8	8	9	9	9

Итогом проведенной работы стало создание полигонального гис-слоя «Распределения полей по каналам», где у каждого полигона имелась атрибутивная информация о его принад-

лежности к соответствующему гидромодульному району, о его принадлежности к той или иной сети ирригационных каналов и очередности полива относительно остальных полигонов полей

канала. Для дальнейших работ имеющаяся информация была экспортирована в Excel, где проводились основные расчеты показателей потребления и распределения водных ресурсов на орошаемых землях в зависимости от объемов доступной воды на орошение.

На основании имеющихся данных по структуре посевов по территориальным единицам Ферганской долины [8] на основании рекомендуемых норм орошения [4] проводился расчет необходимого объема воды для территории, подвешенной к определенному каналу. Научно обоснованный подход к расчетам норм орошения (объему воды, поданного для полива растения за весь вегетационный период) для возделываемых к Ферганской долине культур основывается на физиологической способности растений к транспирации при различных климатических и почвенно-мелиоративных условиях. Так, оросительная норма хлопчатника в зависимости от почвенно-мелиоративных условий в Ферганской области варьирует от 3400 до 6500 м куб./га, для садовых культур она меняется 2200 до 5000 м куб./га [4]. Для каждой административной единицы Ферганской долины в пределах каждого гидромодульного района была определена средневзвешенная оросительная норма полива (J_{mnt}) сельскохозяйственных культур, определяемая по формуле:

$$J_{mnt} = \sum A_i * J_{nti} \quad (1),$$

где A_i – доля культуры в севообороте, %; J_{nti} – рекомендованная оросительная норма культуры в зависимости от гидромодульного района, м куб./га.

Общий водозабор определялся по формуле:

$$V_w = k * J_{mnt} * A_{nt} + V_l \quad (2),$$

где J_{mnt} – средневзвешенная оросительная норма (1), A_{nt} – орошаемая площадь (га), V_l – потери воды из оросительной сети (м куб.), k – поправочный коэффициент учета водозабора на промышленные и коммунально-бытовые нужды, а также использования коллекторно-дренажных и подземных вод.

Далее для каждого канала был определен объем водозабора, необходимый для удовлетворения потребностей в воде подвешенной к нему территории. Если пропускаемый объем воды через канал в конкретный год меньше необходимого, то дефицит воды показывался по величине (доле) площади, которая недополучит влагу при условии последовательного ее распределения по полигонам в системе канала в соответствии с присвоенными ранее индексами очередности полива. Например, за летний сезон 2005 г. средний расход воды у изголовья Большого Ферганского канала составил 64,6 м³/сек вместо

среднего многолетнего сезонного расхода 95 м³/сек. Таким образом, в канал поступило 1021 млн. м³ воды за рассматриваемый период. Вычитая поочередно, в соответствии с номерами полигонов, необходимое количество воды для каждого полигона из поступающего количества воды, можно вычислить до какого номера полигона воды будет хватать.

Для графического отображения результатов расчета к атрибутивной информации слоя «Распределения полей по каналам» в Arc-GIS, методом построения запросов и связей Excel – Access – Arc GIS, была присоединена Excel-таблица, содержащая данные расчетов расходов воды по каналам и распределения воды по орошаемым землям. При изменении каких-либо параметров в расчетах Excel, соответствующие значения меняются в атрибутивной информации полигонов и отображаются в интерфейсе картографической программы.

На основании имеющихся гидрологических данных по Токтогульскому и Андижанскому водохранилищам за период с 1980 по 2013 гг. [8] были разработаны возможные сценарии водообеспеченности бассейна р. Сырдарья в вегетационный период (табл. 2):

(1) в условиях работы Токтогульского и Андижанского водохранилища в ирригационном режиме;

(2) в условиях работы Токтогульского водохранилища в энергетическом режиме и Андижанского водохранилища – в ирригационном;

(3) в условиях затяжного многолетнего маловодья и низких объемов запасов воды в Токтогульском и Андижанском водохранилищах, вызванных несбалансированным использованием водохозяйственных сооружений.

Анализ, обобщение и разъяснение полученные данных. Разработанная ГИС с элементами компьютерного моделирования позволила составить прогнозные карты-схемы распределения воды по полям Ферганской долины (масштабом 1:400000) применительно к трем рассматриваемым сценариям водообеспеченности в вегетационный период. В Ферганской долине формируется основная часть стока р. Сырдарья, в связи с чем долина не испытывает резкого природного дефицита водных ресурсов по сравнению с другими нижележащими по течению реки регионами. При работе Токтогульского водохранилища и Андижанского водохранилища в ирригационном режиме (Сценарий 1) в средний по водообеспеченности год (величина попусков близка к среднему многолетнему значению), по расчетам, в пределах Ферганской долины формируется 17-18 млрд. м³ речного стока. Попуски Токтогульского водохранилища формируют 44% от общего стока долины за рассматриваемый

период, Андижанское водохранилище формирует 14% стока, реки, стекающие с горных хребтов, окаймляющих Ферганскую долину, и имеющие преимущественно снеговое и ледниковое питание с наибольшим расходом с мая по июль-август [7], формируют 35% стока Ферганской долины, еще 5% формируется за счет

попусков малых и средних водохранилищ, сооруженных для ирригационных целей в равнинной и горной частях. При описанных условиях водообеспеченности средняя доля земель с дефицитом водных ресурсов в Ферганской долине составляет 14% (рис. 1).

Таблица 2. Рассматриваемые сценарии различных условий водообеспеченности Ферганской долины

Основные параметры, вводимые в модель	Сценарий 1		Сценарий 2		Сценарий 3	
	К попуска Т.=	1,00	К попуска Т.=	0,68	К попуска Т.=	0,49
	К попуска Ан.=	1,00	К попуска Ан.=	1,34	К попуска Ан.=	0,89
	К бок. прит.=	1,50	К бок. прит.=	1,50	К бок. прит.=	1,50
	КПД ир.сист.=	0,65	КПД ир.сист.=	0,65	КПД ир.сист.=	0,65
К рац-ти полива=	1,58	К рац-ти полива=	1,58	К рац-ти полива=	1,58	
Распределение водных ресурсов						
область	с/х земли, обеспеченные водными ресурсами, %	с/х земли, не обеспеченные водными ресурсами, %	с/х земли, обеспеченные водными ресурсами, %	с/х земли, не обеспеченные водными ресурсами, %	с/х земли, обеспеченные водными ресурсами, %	с/х земли, не обеспеченные водными ресурсами, %
Андижанская	94,35	5,65	92,5	7,5	86,32	13,68
Ферганская	87,55	12,45	82,0	18,0	72,08	27,92
Наманганская	86,89	13,11	85,7	14,3	84,06	15,94
Джалалабадская	90,12	9,88	88,8	11,2	88,82	11,18
Ошская	67,20	32,80	67,2	32,8	67,20	32,80
Согдийская	68,60	31,40	68,6	31,4	52,34	47,66
по Ферганской долине	86,00	14,00	83,5	16,5	77,69	22,31
Попуски водохранилищ, м ³						
Токтогульское вдхр.	7 591 678 000		5 162 341 040		3 719 922 220	
Андижанское вдхр.	2 539 693 440		3 403 189 210		2 260 327 162	
Всего	10 131 371 440		8 565 530 250		5 980 249 382	

В начале 1990-х гг. прекращение реализации механизма бартерного обмена (вода в вегетационный период – топливо в зимний сезон) между Кыргызстаном, Узбекистаном и Казахстаном обусловило изменение режима работы Токтогульского водохранилища. С 1989 г. среднесезонная величина попусков в межвегетационный период увеличилась с 2,7 км³ до 8 км³, а в вегетационный уменьшилась с 9 км³ до 6 км³. [3]. Такой режим работы водохранилища приводит к возникновению зимних паводков, а летом – к искусственному маловодью. Чрезмерные попуски воды для выработки энергии, противоречащие инженерным регламентам сооружения Токтогульского водохранилища, привели в 2000-х гг. к уменьшению объема воды в водохранилище практически до «мертвого» уровня к началу вегетационного периода и соответствующему

сокращению подачи воды в летний период до 4-6 млрд. м³ вместо 8-10 млрд. м³ (Сценарий 2). Попуски Андижанского водохранилища частично компенсируют возникающий дефицит водных ресурсов в Ферганской долине, и доля земель, испытывающих недостаток в воде на орошение, возрастает незначительно с 14% до 16%, преимущественно на землях центральной части Ферганской долины, орошаемых Большим Ферганским и Большим Андижанским каналами (рис. 2).

В условиях многолетнего затяжного маловодья, когда в Андижанском водохранилище отсутствует возможность накопления и сбережения части воды на последующие года, и несбалансированного режима работы Токтогульского водохранилища, существует реальный риск возникновения резкого дефицита водных

ресурсов в обоих водохранилищах одновременно (Сценарий 3). Это приведет к сокращению объемов поступления воды в ирригационные системы минимум вдвое и возрастанию доли

земель с риском нехватки водных ресурсов для поливов в вегетационный период до 22% в среднем по Ферганской долине.



Рис. 1. Карта-схема распределения водных ресурсов в Ферганской долине в условиях Сценария 1



Рис. 2. Карта-схема распределения водных ресурсов в Ферганской долине в условиях Сценария 2

Районы, наиболее подверженные риску возникновения дефицита водных ресурсов, расположены в центральных, северных и северо-западных частях Ферганской области, в предгорных территориях южной части Наманганской и юго-восточной части Андижанской областей Узбекистана, Согдийской области Таджикистана. В эту категорию попадают межадырные и

предгорные равнины пограничных территорий на юго-востоке долины, а также земли Джалалабадской области Кыргызстана (рис. 3).

Имеющейся риск возникновения дефицита водных ресурсов для орошения является следствием несбалансированной системы землепользования. После распада СССР перед бывшими союзными республиками остро встала проблема

продовольственной самообеспеченности. С 1990-х гг. в структуре посевов в Ферганской долине произошли серьезные изменения: доля продовольственных зерновых культур (пшеницы и кукурузы) увеличивалась как за счет снижения площадей посевов хлопчатника, так и за счет ввода в сельскохозяйственный оборот мало пригодных земель с повышенным риском заболачивания, засоления или возникновения почвенной эрозии. Однако при этом доля хлопчатника остается высокой, особенно в Узбекистане, где существует государственный заказ на эту культуру, обусловленный ростом мировых рыночных цен на хлопковое сырье. В результате фермерские хозяйства отдают большую часть своих

земель под выращивание хлопчатника, очень требовательного к обильному поливу в различные стадии вегетационного развития. Из-за несвоевременного и недостаточного поступления воды по магистральным каналам в период поливов фермеры периодически вынуждены использовать воду из коллекторно-дренажных систем, характеризующуюся повышенной минерализацией. Использование таких источников орошения приводит к интенсификации процесса вторичного засоления почв. Результаты моделирования показывают, что районы сильного и среднего засоления [8] соответствуют землям с высоким риском возникновения дефицита водных ресурсов.

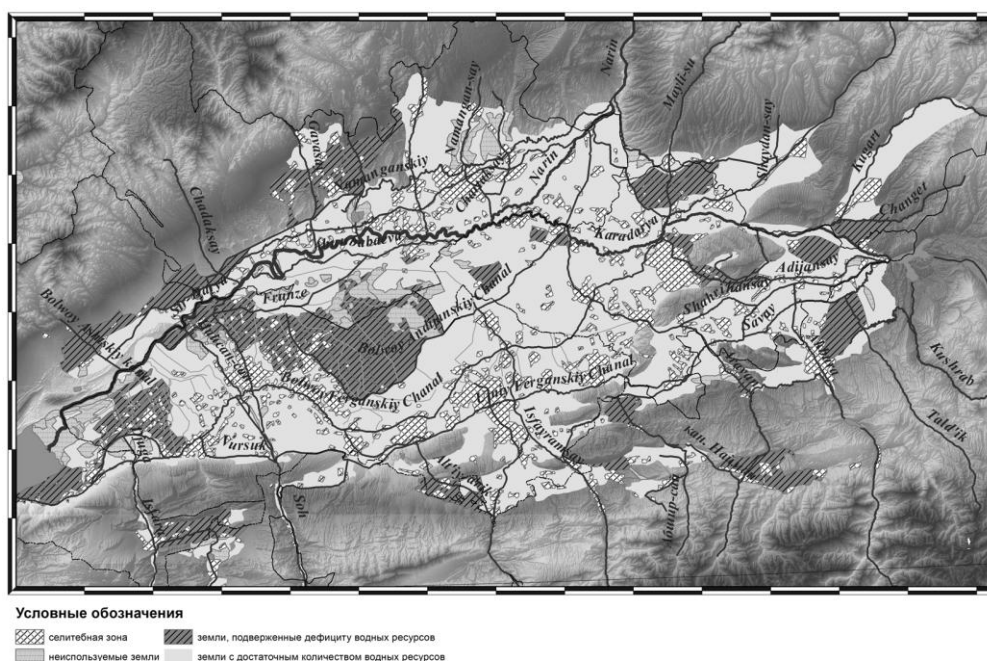


Рис. 3. Карта-схема распределения водных ресурсов в Ферганской долине в условиях Сценария 3

Расчет распределения водных ресурсов при различных структурах посевов позволил определить, что диверсификация структуры севооборота является действенным механизмом для повышения устойчивости системы водопользования Ферганской долины. Экологически и экономически целесообразным является внедрение нового подхода к определению структуры посевов с включением в нее таких культур, полив которых соответствует периоду наибольших попусков Токтогульского водохранилища. Преобладающими культурами должны стать различные овощные, выращиваемые весной под пленкой, а также различные зерновые и фуражные культуры, основные поливы которых приходятся на период с октября по март. Летом необходимо исключение из структуры севооборота культур с высокими нормами орошения (хлопчатник, кукуруза, рис) и повышение доли бахчевых и садовых

культур, не требовательных к обильным поливам и исторически выращиваемых в аридных условиях Ферганской долины.

Выводы:

1. Речной сток Ферганской долины имеет высокую степень зарегулированности. Функционирование большинства водохозяйственных сооружений направлено на обеспечение необходимым объемом воды сельскохозяйственной инфраструктуры, в первую очередь хлопчатника во время сезонов полива. Переход Токтогульского водохранилища на энергетический режим работы привел к разрушению комплексной системы использования водных ресурсов. При энергетическом режиме работы Токтогульского водохранилища с максимальными попусками в межвегетационный период, имеющаяся система водопользования имеет незначительный «запас прочности», обусловленный компенсирующими

попусками Андижанского водохранилища, а также использованием доступных для ирригации водных ресурсов рек, стекающих с горных хребтов, окружающих Ферганскую долину.

2. Современный регламент пользования Токтогульским водохранилищем без учета практики многолетнего планирования использования всего водохозяйственного комплекса верхней части р. Сырдарья может привести к усугублению кризиса и сокращению доступных для ирригации водных ресурсов вдвое. Необходимо повышение эффективности межгосударственных механизмов управления речным стоком сырдарьинского бассейна – в первую очередь, регулирование сезонного и многолетнего сброса Токтогульского и Андижанского водохранилищ с учетом интересов, как Узбекистана, так и Кыргызстана, а также восстановление работы Токтогульского водохранилища в ирригационном режиме.

3. Наиболее оптимальным инструментом повышения потенциала устойчивости системы водопользования в условиях ограниченной доступности водных ресурсов является диверсификация севооборота с целью оптимизации норм и режима орошения. Целесообразным является изменение структуры посевов в пользу тех, которые потребляют меньше воды и неприхотливы к аридным климатическим условиям, необходим отказ от выращивания солечувствительных культур и культур, требовательных к орошению. Переход от монокультуры хлопчатника в пользу бахчевых, садовых и кормовых культур в период вегетации и увеличение посевов овощных и зерновых озимых в межвегетационный период

позволят уменьшить потребность в поливах с апреля по октябрь и увеличить с октября по март. Тем более, что такой режим орошения будет вписываться в современный режим попусков Токтогульского водохранилища, при котором наибольшее расходу по реке Нарын и соответственно по реке Сырдарья наблюдаются в зимнее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Беспалов, Н.Ф.* Мелиорация и орошение культур хлопкового севооборота. Узбекская академия с/х наук. – Ташкент, 1992. С. 15-19, С. 21-27.
2. *Мирзаев, Н.Н.* Руководство и управление водой на ЮФКМ / Н.Н. Мирзаев, Р. Саидов, И. Эргашев. – Ташкент, 2009. С. 35-37.
3. *Стариков, Н.П.* Проблемы режима эксплуатации водохранилищ в водном хозяйстве Узбекистана и стран Центральной Азии. 2005 <http://water-salt.narod.ru>
4. *Стулина, Г.В.* Рекомендации по гидромодульному районированию и режиму орошения сельскохозяйственных культур. – Ташкент, 2010. С. 35-47.
5. *Хамидов, Х.М.* Организация управления водными ресурсами в бассейне реки Сырдарья. – Ташкент, 2005. С. 2-4.
6. *Шредер, В.Р.* Почвенно-мелиоративное районирование и расчётные режимы орошения. Доклад по совокупности выполненных работ, представленный на соискание учёной степени к.с.х.н. – Ташкент, 1973. 29 с.
7. *Шульц, В.Л.* Реки средней Азии. –Л., ГИМИЗ, 1965. С. 122-153.
8. Портал знаний о водных ресурсах и экологии Центральной Азии <http://www.cawater-info.net>
9. Геопортал МГУ www.geogr.msu.ru, Почвенно-мелиоративная карта Узбекистана, 1:500000, 2012.

APPLICATION OF SCENARIO APPROACH FOR THE ASSESSMENT THE STABILITY OF WATER USE SYSTEM IN FERGANA VALLEY

© 2014 A.D. Nikanorova

Moscow State University named after M.V. Lomonosov

In article the methodology and results of development the GIS-system with elements of the computer modeling, allowing to estimate the size of water deficiency in Fergana Valley under various operating conditions of water management system of the top part of Syr-Darya river basin is described. Regions of Fergana Valley where shortage of water resources is observed were revealed, the reasons of its emergence connected with existing structure of land use are considered, and also possible mechanisms of increase the stability of water use system and its adaptation to conditions of water resources limitation are considered.

Key words: *Fergana Valley, water resources, geoinformation system*