

УДК 556.182

А.Д. Никанорова<sup>1</sup>, Н.М. Дронин<sup>2</sup>

## ОЦЕНКА ВОДНОГО ДЕФИЦИТА НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ В ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЕ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ РЕЖИМА РАБОТЫ ТОКТОГУЛЬСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Оценена величина водного дефицита в Ферганской долине при разных сценариях на основе ГИС с элементами компьютерного моделирования. Сценарии учитывают объемы поступления воды в вегетационный период и ее потребления для нужд земледелия в условиях “среднего” (2000) и “плохого” (1998) года, а также в условиях оптимизации норм полива. Выявлены районы в Ферганской долине, дефицитные в отношении водных ресурсов. Рассмотрена обусловленность дефицита водных ресурсов существующим режимом работы Токтогульского водохранилища, а также исторически унаследованной структурой землепользования с завышенным объемом потребления воды на орошение.

*Ключевые слова:* ирригация, дефицит водных ресурсов, геоинформационная система, Ферганская долина, оптимизация водного режима.

**Введение.** Большинство населения Ферганской долины занято в сельском хозяйстве, и устойчивое снабжение водой для орошения представляет собой ключевое условие стабильности в регионе. Несмотря на хорошую обеспеченность долины водными ресурсами по сравнению с другими регионами бассейна р. Сырдарья, на протяжении последних 20 лет наблюдаются перебои в поступлении воды в Ферганскую долину, что связано с изменением режима работы Токтогульского водохранилища. В советский период сооружение водохранилища было необходимо для обеспечения потребностей орошаемого земледелия на нижележащих землях бассейна р. Сырдарья. В 1990-х гг. произошел распад централизованной бассейновой системы управления водными ресурсами, при которой между Киргизией, Узбекистаном и Казахстаном происходил бартерный обмен (вода в вегетационный период на топливо в зимний сезон). Нарушение партнерских договоренностей между Киргизией и Узбекистаном в конце 1980-х гг. привело к переходу работы Токтогульского водохранилища с оросительного на энергетический режим. С 1989 г. среднегодовое количество пусков в холодный период увеличилось с 2,7 до 8 км<sup>3</sup>, а в вегетационный уменьшилось с 9 до 6 км<sup>3</sup> [7]. Такой режим работы водохранилища приводит к возникновению зимних паводков, а летом — к искусственному маловодью.

Посевы требовательных к воде культур усугубляют дефицит воды, обусловленный энергетическим режимом работы Токтогульского водохранилища. В советское время Ферганская долина была главным регионом выращивания хлопчатника, а также ряда садовых плодовых культур. С 1990-х гг. в структуре посевов

в Ферганской долине произошли серьезные изменения (рис. 1). С выходом республик из Советского Союза у них появилась необходимость перейти на продовольственное самообеспечение.

В структуре посевов доля продовольственных зерновых культур (пшеницы и кукурузы) увеличивалась как за счет снижения площадей посевов хлопчатника, так и за счет ввода в сельскохозяйственный оборот малопригодных земель с повышенным риском заболачивания, засоления или возникновения почвенной эрозии. Однако при этом доля хлопчатника оставалась высокой, особенно в Узбекистане, где существует государственный заказ на эту культуру.

В силу высокой экономической рентабельности выращивание хлопчатника остается профильным направлением сельского хозяйства в Ферганской долине, что негативно сказывается на экологическом состоянии земель. Во-первых, культура хлопчатника очень требовательна к поливам: в среднем за вегетационный сезон на полив 1 га поля с хлопчатником требуется 5000 м<sup>3</sup> воды [8], если систематический полив отсутствует, то значительно снижается урожай, вплоть до гибели посевов. Во-вторых, для получения максимально возможного урожая фермеры прибегают к завышенным нормам использования удобрений. В совокупности эти два фактора ведут к динамично развивающимся процессам вторичного засоления и заболачивания сельскохозяйственных угодий. Наиболее сильно эти процессы распространены в центральных Ферганской и Андижанской областях, хотя в настоящее время количество вносимых удобрений и уровень засоления почв заметно ниже, чем в советский период.

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии мира и геоэкологии, аспирант; e-mail: aleksanika@gmail.com

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии мира и геоэкологии, вед. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: ndronin@gmail.com

Отсутствие актуального для современных природных и климатических условий гидромодульного районирования выступает причиной нерационального использования воды на уровне фермерских хозяйств. Режим орошения в Ферганской долине определяется по гидромодульному районированию, составленному для этих земель в 1960-е и 1970-е гг. За прошедшие 50 лет почвенно-мелиоративные водохозяйственные условия в значительной степени изменились. В результате гидромодульное районирование и составленный в соответствии с ним режим орошения не соответствуют реальным современным условиям [4, 5], например, в среднем существующая норма полива в некоторых районах на 1 га поля завышается в 1,5 раза по сравнению с рекомендуемой.

Большие потери воды также связаны с неэффективной работой дренажно-оросительной системы в Ферганской долине, которая в условиях многолетнего отсутствия материальной и эксплуатационно-технической поддержки устарела и пришла в негодность. По экспертным оценкам [9], в каналах Ферганской долины теряется до 50% воды, предназначенной на орошение.

**Постановка проблемы.** Цель работы — оценка возникшего дефицита воды, расходуемой на орошение в Ферганской долине, а также вклада разных факторов его возникновения, включая изменение режима работы Токтогульского водохранилища, структуру посевов со значительной долей требовательных к увлажнению культур, исторически унаследованные повышенные нормы поливов и неудовлетворительное состояние ирригационных сетей. Основным критерием оценки вклада этих факторов служит величина дефицита воды, рассчитанная по доле сельскохозяйственных угодий, которые недополучают воду на орошение в вегетационный период при разных сценариях землепользования в Ферганской долине.

**Материалы и методы исследования.** Для оценки величины водного дефицита в разных районах Ферганской долины была разработана геоинформационная система с элементами компьютерной модели. Интерфейс программы выполнен в гис-программе ArcGIS — ArcView, база данных сформирована в Microsoft Office Access, а расчеты проводились в Microsoft Office Excel.

На начальном этапе работы дешифрировали аэрокосмические снимки на территорию Ферганской долины в программе Arc-GIS на основе мультиспектральных снимков Landsat-7 с разрешением 30 м и данных Google Earth. Применен метод эталонного дешифрирования. Для всей территории Ферганской долины выделены земли под сельскохозяйственными культурами (хлопок, зерновые, фуражные, плодовые деревья, рис), селитебные зоны и зоны, где земледелие не ведется (пустынные и заболоченные территории).

На основе полученных данных в программе ArcGIS созданы слои “Селитебные зоны”, “Основные сельскохозяйственные культуры”, “Неиспользуемые земли” (масштаб 1:400 000). Слой “Селитебные зоны” включает атрибутивную информацию о названиях

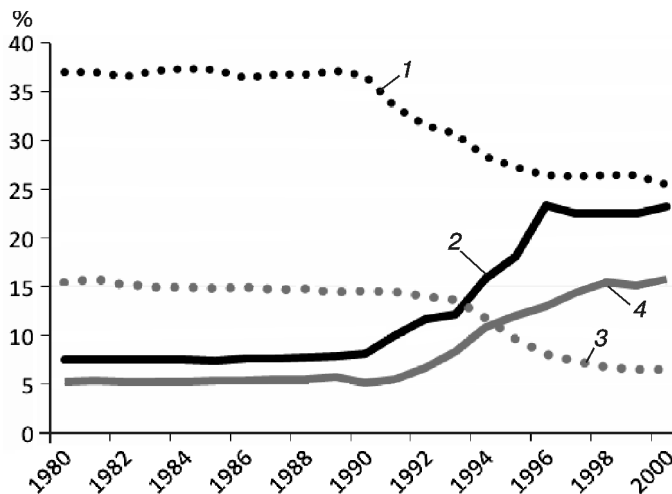


Рис. 1. Динамика изменения посевов (%) в Ферганской долине в 1990–2000 гг.: 1 — хлопчатник, 2 — зерновые, 3 — фуражные, 4 — садово-плодовые культуры, по [9]

крупных населенных пунктов, в слой “Основные сельскохозяйственные культуры” (помимо атрибутивной информации о типах посевов) включена функция автоматического подсчета площади орошаемых полигонов-полей.

На основе пространственных данных [1], отображающих сеть каналов, рек и озер Узбекистана, Киргизии и Таджикистана, мультиспектральных снимков Landsat-7, цифровой модели рельефа SRTM построена и отображена сеть водных объектов, расположенных в пределах долины. С использованием литературных источников [3, 9] выявлена иерархическая связь каналов, в базу данных введены их основные характеристики (название, средний расход, пропускная способность, КПД, протяженность, тип русла, год ввода в эксплуатацию).

В результате выделены 32 оросительные системы в Ферганской долине: системы на главных реках Нарын, Карадарья и Сырдарья; ирригационные системы мелких рек, стекающих со склонов горных хребтов (от Нарына по часовой стрелке: Майлисай, Караункурсай, Кугарт, Талдык, Акбура, Араван, Исфарамсай, Шахимардан, Сох, Гавиан, Исфара, Гавасай, Разаксай, Кассансай, Намангансай, Чартаксай); системы основных каналов в центральной части долины (Левобережный, Наманганский, Северный Ферганский, Большой Андижанский каналы, отходящие от р. Нарын, каналы Андижансай, Шахрихансай, Южный Ферганский — от р. Карадарья и каналы Фрунзе, Ахунбабаева — от р. Сырдарья), а также каналы, питающиеся от малых водохранилищ и небольших горных рек (Котортольский, Кокедонский, Большой Аштский).

Ранжирование полей по их принадлежности к каналам проводилось на основе работ проекта “Интегрированное управление водными ресурсами в Ферганской долине” [6], в условиях недостаточной информации — в соответствии с рельефом территории. Для каждого канала выявлена подвешенная орошаемая

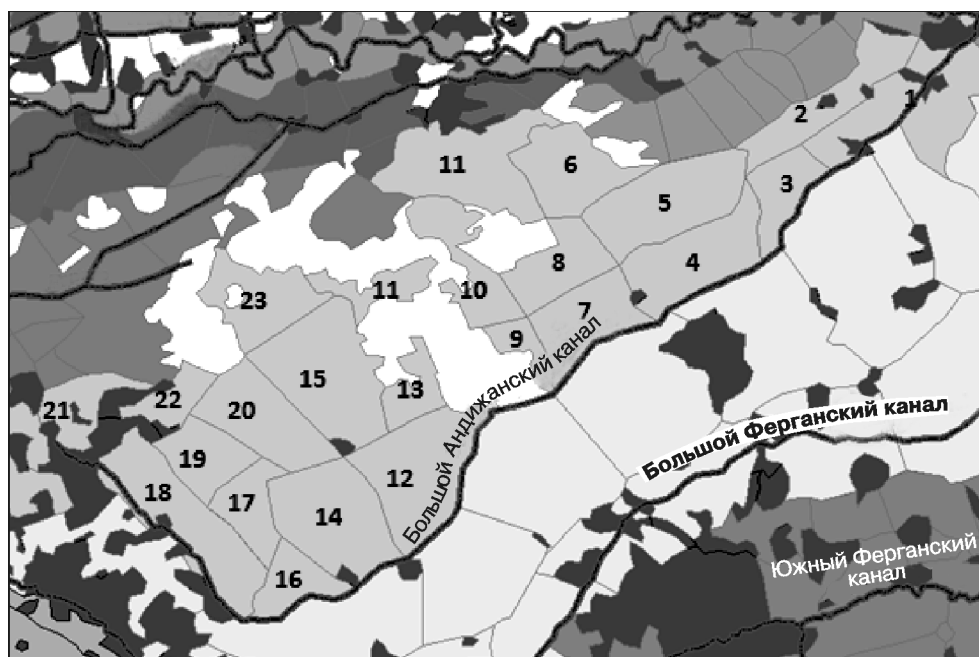


Рис. 2. Скрин-шот из ArcGIS, слой “Распределение полей по каналам”, показан пример выделения полигонов полей, “подвешенных” к Большому Андижанскому каналу. Цифрами 1—22 обозначены индексы, соответствующие очередности полива

территория, а в ее пределах выделены и пронумерованы полигоны. Полигоны упорядочены и пронумерованы согласно очереди полива полей. Во внимание принимались такие факторы, как положение относительно магистрального канала и наличие подводящих каналов (арыков) к полигону. Наименьший цифровой индекс присваивали полигонам у изголовья каналов, а наибольший — полигонам в нижней части канала, отдаленным от него.

Затем на основе карты землепользования и принятых норм полива разных культур рассчитывали необходимый объем воды для территории, “подвешенной” к каждому каналу. Если пропускаемый объем воды через канал в конкретный год меньше необходимого, то дефицит воды показывали по величине (доле) площади, которая недополучит влагу при условии ее последовательного распределения по полигонам в системе канала. Например, за 1998 г. средний расход воды в Большом Андижанском канале составил  $34,2 \text{ м}^3/\text{с}$  вместо  $49 \text{ м}^3/\text{с}$  в 2000 г. Таким образом, за рассматриваемый период в канал поступило  $556\,490\,300 \text{ м}^3$  воды. Вычитая поочередно в соответствии с номерами полигонов необходимое количество воды для каждого полигона из этого поступающего количества воды, можно вычислить, какие полигоны остались без воды в 1998 г. по сравнению с 2000 г.

Возможность использовать осредненные нормы полива зависит от пространственной дифференциации ландшафтно-почвенных условий в Ферганской долине. История антропогенной трансформации почв в долине насчитывает 80—90 лет. По мнению А. Маскудова [2], орошаемое земледелие за такой длительный период привело к нивелированию исходных свойств почв: высокогумусные почвы (луговые и болотно-луговые) потеряли гумус, а малогумусовые обогатились

им. Таким образом, в условиях Ферганской долины под влиянием орошения и мелиорации произошло осушение болотных и болотно-луговых почв, исчезли автоморфные и автогидроморфные почвы и образовались орошаемые, главным образом незасоленные и слабозасоленные, луговые почвы. Нормы полива в долине различаются не столько из-за исходных почвенных типов, сколько из-за разной степени современной засоленности орошаемых почв и уровня залегания грунтовых вод.

В итоге нами создан полигональный гис-слой “Распределение полей по каналам”, где для каждого полигона есть атрибутивная информация о типе сельскохозяйственной культуры, выращиваемой в его пределах, о его принадлежности к той или иной сети ирригационных каналов (рис. 2). Для дальнейших расчетов к атрибутивной информации слоя в гис-программе присоединена таблица вычисления расхода воды в программе Excel так, что при изменении какого-либо параметра в расчетной таблице соответствующие значения меняются в атрибутивной информации о полигонах и отображаются в интерфейсе ArcGIS.

Таким способом исследованы два периода: во-первых, 1998 г., когда был осуществлен минимальный пуск воды за вегетационные периоды 1980—2000 гг., и, во-вторых, 2000 г., характеризующийся величиной пуска, близкой к средней многолетней. На эти годы составлены карты-схемы распределения водных ресурсов в Ферганской долине (масштаб 1:400 000) в условиях фактических объемов потребления воды на орошение и в условиях оптимизации методов орошения с позиции экономии водных ресурсов.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Модель показывает, что при энергетическом режиме работы Токтогульского водохранилища и существующей

структуре землепользования значительная доля обрабатываемых земель должна находиться в условиях хронического дефицита воды. Доля земель с дефицитом воды в современных условиях в “средний” год составляет 13% (рис. 2).

По расчетам, в кризисный 1998 г. к началу вегетационного периода объем воды в Токтогульском водохранилище был близок к “мертвому” уровню из-за чрезмерных попусков в холодный сезон, а доля орошаемых земель, испытывающих недостаток в водных ресурсах, составила 17% (рис. 3). Дефицитные районы расположены в северной части Ферганской, Андижанской и южной части Наманганской областей Узбекистана, а также в Согдийской области Таджикистана. В эту категорию попадают межадырные равнины пограничных территорий на юго-востоке долины, а также земли Джалалабадской области (Киргизия).

Модель позволяет определить дефицит воды при применении наиболее оптимальных норм полива [8] с одновременным уменьшением потерь воды в каналах (рис. 4). Увеличение эффективности водопотребления на хозяйственном уровне — действенный механизм регулирования спроса на воду и объема ее потребления в условиях ограниченности водных ресурсов. При соблюдении рекомендованных норм орошения и модернизации оросительной системы Ферганской долины потенциальная экономия водных ресурсов<sup>3</sup> составит 36% (вместо 10,1 км<sup>3</sup> воды будет использовано 6,7 км<sup>3</sup>), а доля земель с недостатком водных ресурсов снизится в “средний” год с 13 до 6%.

Регулировать спрос на воду можно также при изменении структуры посевов. Для выбора наиболее оптимальной структуры посевов разработаны сцена-

рии, учитывающие разные соотношения основных выращиваемых культур в Ферганской долине. В первых двух сценариях использованы данные о структуре посевов на 2000 (А) и 1980 (Б) гг., при которых средние величины водопотребления составляют 4506 и 4836 м<sup>3</sup>/га соответственно. В чисто гипотетическом сценарии В рассматривалась возможность уменьшить водопотребление до максимально низкого уровня (1200 м<sup>3</sup>/га) за счет выведения всех сельскохозяйственных земель из оборота, за исключением земель под виноградниками, садами и приусадебными участками. В сценарии Г предполагался вывод из сельскохозяйственного оборота земель под культурами, требовательными к поливам, — хлопчатником и кукурузой. В сценарии Д дополнительно к условиям предыдущего сценария в 2 раза сокращались посевы пшеницы, в результате чего из сельскохозяйственного оборота выводилось 30% земель, а потребление воды сокращалось до 4140 м<sup>3</sup>/га.

Проанализировав результаты разработанных сценариев (таблица), можно сделать вывод, что с позиции уменьшения объемов потребления воды на орошение за 20 лет, начиная с 1980 г., наиболее оптимальная структура посевов была достигнута в 2000 г. Интенсивное освоение и расширение сельскохозяйственных земель с приоритетными задачами — сначала увеличения роста объема производства хлопчатника на экспорт в 1980—1990 гг., а затем внутреннего продовольственного самообеспечения в 1990—2000 гг. — привели к увеличению потенциальных рисков возникновения дефицита водных ресурсов в центральных пустынных районах и землях периферийных предгорных территорий, неблагоприятных для освоения. Такие земли

Расчет потенциальной водообеспеченности земель (%) Ферганской долины

| Ферганская долина | Сценарий А |       | Сценарий Б |       | Сценарий В |       | Сценарий Г |       | Сценарий Д |       |
|-------------------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
|                   | 1          | 2     | 1          | 2     | 1          | 2     | 1          | 2     | 1          | 2     |
| Узбекская часть   | 97,30      | 2,70  | 96,28      | 3,72  | 98,83      | 1,17  | 97,30      | 2,70  | 98,60      | 1,40  |
| Киргизская часть  | 92,42      | 7,58  | 92,42      | 7,58  | 100,0      | 0,00  | 92,42      | 7,58  | 96,04      | 3,96  |
| Таджикская часть  | 73,23      | 26,77 | 73,23      | 26,77 | 73,23      | 26,77 | 73,23      | 26,77 | 73,23      | 26,77 |
| Области           |            |       |            |       |            |       |            |       |            |       |
| Наманганская      | 92,28      | 7,72  | 91,12      | 8,88  | 96,04      | 3,96  | 92,28      | 7,72  | 95,71      | 4,29  |
| Андижанская       | 100,0      | 0,00  | 100,0      | 0,00  | 100,0      | 0,00  | 100,0      | 0,00  | 100,0      | 0,00  |
| Ферганская        | 98,94      | 1,06  | 97,21      | 2,79  | 100,0      | 0,00  | 98,94      | 1,06  | 99,67      | 0,33  |
| Джалалабадская    | 80,58      | 19,42 | 80,58      | 19,42 | 100,0      | 0,00  | 80,58      | 19,42 | 89,87      | 10,13 |
| Ошская            | 100,0      | 0,00  | 100,0      | 0,00  | 100,0      | 0,00  | 100,0      | 0,00  | 100,0      | 0,00  |
| Согдийская        | 73,23      | 26,77 | 73,23      | 26,77 | 73,23      | 26,77 | 73,23      | 26,77 | 73,23      | 26,77 |

Примечание: 1 — земли, потенциально обеспеченные водой; 2 — земли с потенциальным риском возникновения дефицита водных ресурсов.

<sup>3</sup> Это максимальная оценка, некоторые эксперты считают, что возможная экономия составляет не более 25% [8].

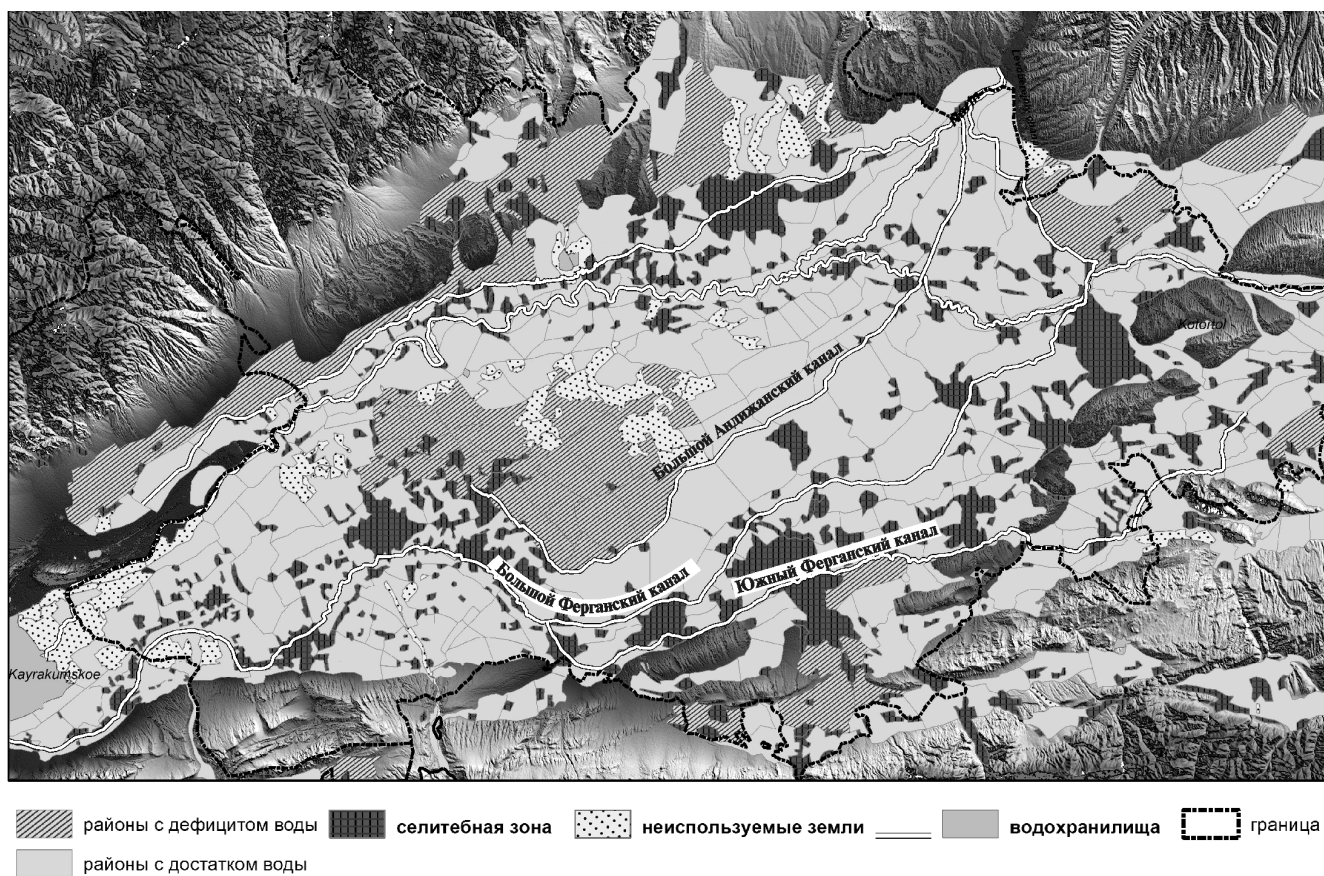


Рис. 3. Карта-схема распределения воды в Ферганской долине в 1998 г. при традиционных (исторических) нормах полива

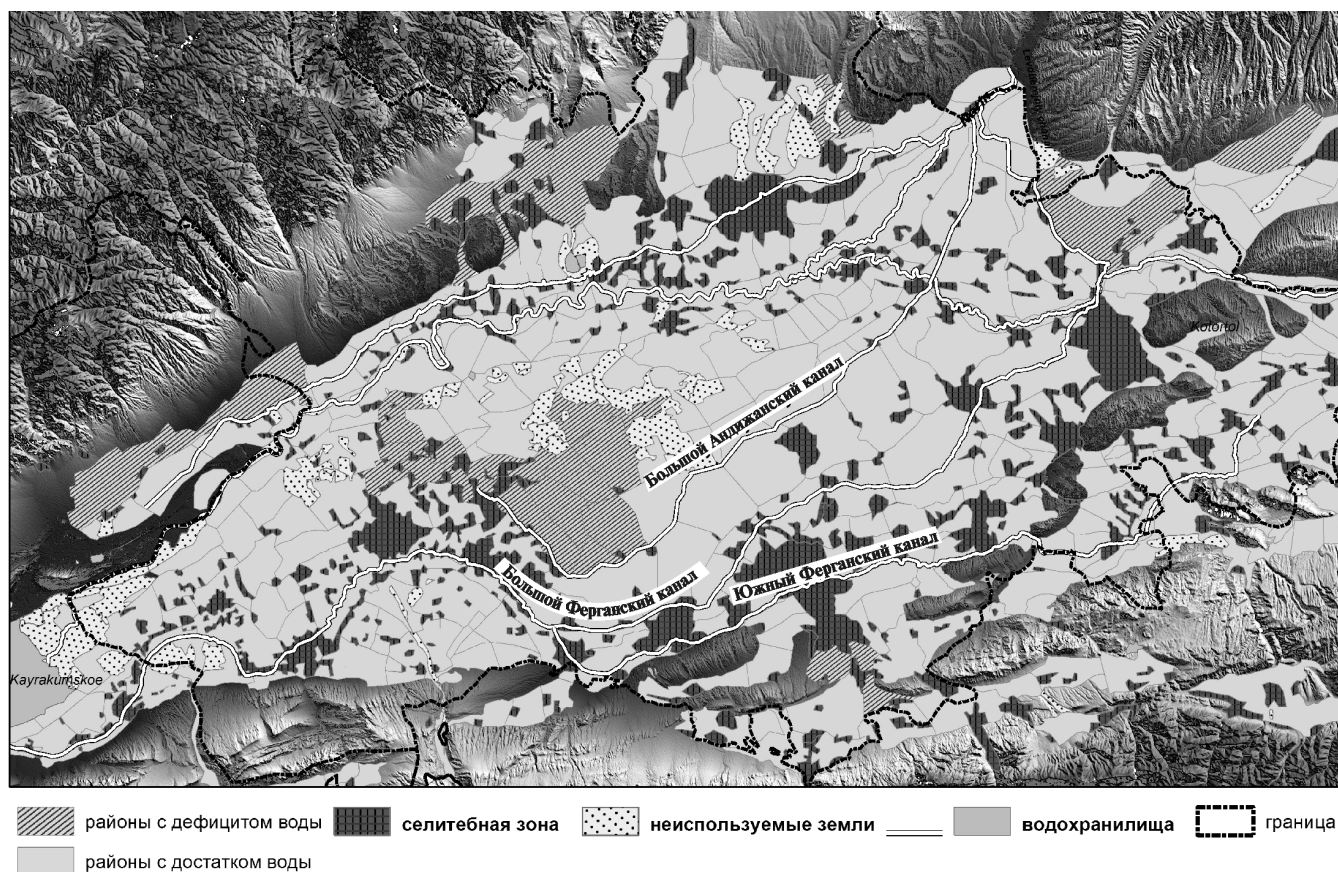


Рис. 4. Карта-схема распределения воды в Ферганской долине при условии соблюдения норм полива в 1998 г.

обладают хроническим дефицитом природных водных ресурсов, с геоэкологических позиций наиболее правилен полный вывод их из сельскохозяйственного оборота.

#### Выводы:

— при сохранении работы Токтогульского водохранилища в энергетическом режиме дефицит водных ресурсов в Ферганской долине неизбежен. Для оптимизации распределения водных ресурсов и их регулирования необходимо повышение эффективности межгосударственных механизмов управления речным стоком бассейна р. Сырдарья, в первую очередь регулирование сезонного и многолетнего сброса Токтогульского и Андижанского водохранилищ с учетом интересов как Узбекистана, так и Киргизии, а также восстановление работы Токтогульского водохранилища в оросительном режиме;

— оптимизация норм и режима орошения — возможное решение снижения потенциального риска возникновения районов с дефицитом воды и механизм повышения урожайности выращиваемых культур. Введение более эффективных и экономичных методов полива в Ферганской долине вместо избыточных, исторически унаследованных, приведет к снижению доли угодий, не обеспеченных водой, более в чем в 2 раза;

— современная структура посевов “экономит” воду на 7% по сравнению с советским периодом. Возможности дальнейшего изменения структуры посевов в пользу тех культур, которые потребляют меньше воды и менее прихотливы к почвенным условиям, ограничены. Расчеты показывают, что снижение потребления воды на орошение по сравнению с тем, которое имело место в последние 20 лет, потребовало бы исключить из культивации хлопчатник.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошматов Б.Т. Результаты ИУВР в Южном Кыргызстане в контексте повышения продуктивности воды. Ташкент, 2008. 8 с.
2. Маскудов А. Почвы Центральной Ферганы. Ташкент: Фан, 1979. 119 с.
3. Мирзаев Н.Н., Саидов Р., Эргашев И. Руководство и управление водой на ЮФКМ. Ташкент, 2009. 67 с.
4. Мухамеджанов Ш.Ш. Распространение усовершенствованных технологий по повышению продуктивности воды. Ташкент, 2007. 70 с.
5. Мухамеджанов Ш.Ш., Хорст М.Г., Мирзаев Н.Н. Оценка требований на воду. Управление спросом. Методика и пути управления орошением сельскохозяйственных культур // Интегрированное управление водными ресурсами: от теории к реальной практике. Опыт Центральной

Азии / Под ред. В.А. Духовного, В.И. Соколова, Х. Мантритаке. Ташкент: НИЦ МКВК, 2008. 364 с.

6. Портал знаний о водных ресурсах и экологии Центральной Азии. URL: <http://www.cawater-info.net> (дата обращения: 25.10.2012).

7. Стариков Н.П. Проблемы режима эксплуатации водохранилищ в водном хозяйстве Узбекистана и стран Центральной Азии. URL: <http://water-salt.narod.ru> (дата обращения: 20.10.2012).

8. Стулина Г.В. Рекомендации по гидромодульному районированию и режиму орошения сельскохозяйственных культур. Ташкент, 2010. 48 с.

9. Хамидов Х.М. Организация управления водными ресурсами в бассейне реки Сырдарья. Ташкент, 2005. 8 с.

Поступила в редакцию  
08.11.2012

A.D. Nikanorova, N.M. Dronin

#### EVALUATION OF WATER DEFICIT ON IRRIGATED LANDS IN THE FERGANA VALLEY RELATIVE TO THE CHANGES IN THE TOKTOGUL WATER RESERVOIR OPERATING REGIME

Water deficit in the Fergana Valley was estimated for a number of scenarios basing on GIS with the elements of computer modeling. The scenarios account for water input during the vegetation period and water consumption for agriculture in a medium year (2000), a bad year (1998) and under the optimization of irrigation rates. Areas with the deficit of water resources were identified in the Fergana Valley. The dependence of water deficit on the Toktogul water reservoir operating regime, as well as the inherited land use structure with excessive quotas of water consumption for irrigation is discussed.

*Key words:* modeling, water deficit, operating regime, Toktogul water reservoir.