

Лукьянова М.Ю., Ковальчук А.Н., Наурзоков Ю.Х. УДК 333.93
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ
ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ФЕОДОСИЙСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО
ВОДНОГО БАССЕЙНА**

***Анотація.** Вперше застосований принцип інтегрованого управління до територій з обмеженими природними водними ресурсами та інтенсивним природокористуванням. Модель територіальної організації водокористування розроблена на основі теорії графів і представлена деревом зв'язків, в основу якого покладені векторні показники напрямку та об'ємно-швидкісних характеристик поверхневих і підземних водотоків.*

***Ключові слова:** територіальна організація водокористування, водний басейн, математична модель, поверхневі і підземні водні*

***Аннотация:** Впервые применен принцип интегрированного управления к территориям с ограниченными природными водными ресурсами и интенсивным природопользованием. Модель территориальной организации водопользования разработана на основе теории графов и представлена деревом связей, в основу которого положены векторные показатели направления и объемно-скоростных характеристик поверхностных и подземных водотоков.*

***Ключевые слова:** территориальная организация водопользования, водный бассейн, математическая модель, поверхностные и подземные водные ресурсы.*

***Summary.** Integrative management of water resources on the base of hydrographic principle, which is most, concerned large river basins, admitted as most effective way of territory water problems decision in the world practice. But the question of ecosystems and biodiversity preserving, of quality drinking water sustainable reproducing are concerned substantially, of rational water using managing functions integration in the conditions of limited territorial water resources. Application of integrative management principle for territories with limited natural water resources, unsustainable network of surface and underground water sources, and with intensive industrial-economy activities at the same time, was firstly proposed in this work. Principles of optimization of natural-anthropogenic systems structure laid into the base of proposed model of water-using territorial organization. Using of discrete mathematics methods, namely graphs theory, proposed to mathematics description of object-functional ties of different nature discrete object, in particular of water sources. Model of water-using territorial organization is shown here as "ties tree"; vector indexes of direction and volume-speed characteristics of surface and underground water-drains laid into the base of this "tree". Vectors of condition of natural reserves of basin water resources and donor basin resources describes positive compilation part of water balance of considering territory. Involving of water resources into economic activity is describing by bloc of water resources conditions, which are involved into producing from each source to each consumer. Models have to be limited for this bloc, because consuming water volume does not have to be higher than volume water, supplying to consumers. From other side, abundance of supplying water has both ecological and economy-social consequences. In the first case this factor has an effect upon ecological safety of the whole region, and in second it connected with not normally high economic load to consumers. Algorithm of modeling for each bloc of system contains definition of model objects, definition of multi-object ties and its normalizing. The proposed model used by us for determine of functions of water moving in natural and anthropogenic channels of Feodosia regional water basin. As it was emphasized in this work, using of proposed mathematics method can be taken for modeling of system of connection between objects of different nature. In particular, registration of polluting matters transferring in downpour and housekeeping drains, and registration of its concentration and changing of it on its way to consumer is very interesting process.*

***Keywords:** territory organizing of water-using, water basin, mathematics model, surface and underground water resources.*

Введение. Одним из наиболее эффективных способов решения водных проблем территорий, применяемых в международной практике, является интегрированное управление водными ресурсами (ИУВР) [1, 2].

Мировая практика развивается в направлении интегрированного управления водными ресурсами, ориентированном на гидрографический бассейновый подход с вовлечением в этот процесс потребителей воды. Привязка бассейнового подхода в управлении водными ресурсами, в основном, ориентирована на крупные речные бассейны трансграничного значения. Однако, вопросы сохранения экосистем и биоразнообразия, устойчивого воспроизводства качественной питьевой воды, в значительной степени касаются регионов с ограниченными природными водными ресурсами и интенсивной производственно-хозяйственной деятельностью. Понятие бассейнового принципа управления в таком случае становится дискуссионным.

Объектом исследования выступает водохозяйственный комплекс территории Большой Феодосии. Цель данной статьи – моделирование территориальной организации водохозяйственного комплекса на примере территории Большой Феодосии.

Согласно поставленной цели в статье были решены следующие задачи:

- на основании принципа интегрированного управления водными ресурсами разработать декомпозиционную модель взаимосвязи водных объектов территориального бассейна;

- на основе теории графов и векторных показателей направления и объемно-скоростных характеристик поверхностных и подземных водотоков разработать модель территориальной организации водопользования на примере Большой Феодосии.

Изложение основного материала. Теоретически эффективное управление системой водных ресурсов, с одной стороны, представляется как производственная функция, в результате которой происходит преобразование характеристик поверхностных и грунтовых вод в количественные, качественные, временные и локализованные характеристики продукции для потребителя, а также в показатели сокращения ущерба от негативных экологических последствий антропогенного воздействия. С другой стороны, трудности управления водными ресурсами связаны с тем, что водный сектор не может существовать изолированно от других секторов экономики, а также территориально. Кроме учета межсекторальных связей, система управления водными ресурсами должна учитывать также ограниченность их запасов. В связи с этим для воспроизводства качественной воды на территории и обеспечения условий устойчивости экосистем необходимо сформировать оптимальную территориальную структуру природных и хозяйственно-экономических связей в рамках водного сектора.

Моделирование процессов этих процессов связано с трудностями математического описания ввиду их многофакторности и многофункциональности. Наиболее перспективным, по нашему мнению, является применение математических методов описания объектно-функциональных связей дискретных объектов. Модель территориальной организации водопользования можно представить деревом связей, в основе которой положены векторные показатели направления и объемно-скоростных характеристик поверхностных и подземных водотоков. Ниже на рис. 1. приведена блок-схема разработанной декомпозиционной модели взаимосвязи водных объектов территориального бассейна. Состояние естественных и донорских водных ресурсов, например, по показателю объема воды, описывается блоками 1 и 2.

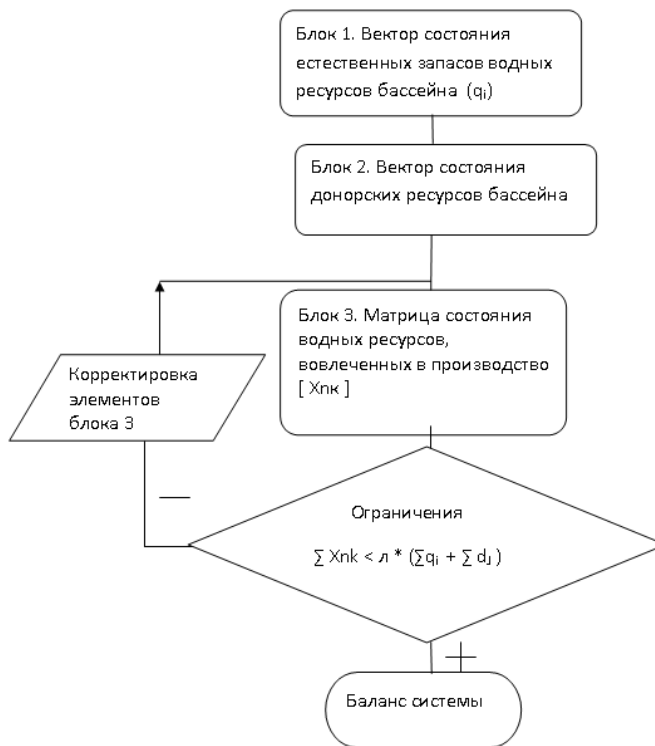


Рис. 1. Схема взаимосвязи водных объектов территориального бассейна.

Универсальность предлагаемого метода заключается в том, что его можно применить для моделирования системы связей между объектами различной природы. В частности, элементами модели могут быть объекты, задействованные в системе водообеспечения и водоотведения, объекты, являющиеся загрязнителями водной среды и т.п. В связи с возможностью применения предлагаемой модели для анализа межобъектных связей различной природы приводим описание алгоритма реализации модели.

Вовлечение водных ресурсов в хозяйственную деятельность описывается блоком описания состояния водных ресурсов, вовлеченных в производство от i – того источника к K -тому потребителю $[X_{ik}]$. Для данного блока модели должны быть поставлены ограничения, связанные с тем, что объем потребляемой воды не должен превышать объем поставляемой потребителям воды. С другой стороны, избыток поставляемой воды имеет как экологические, так и экономико-социальные последствия. В первом случае этот фактор влияет на экологическую безопасность региона в целом, а во втором – связан с неоправданно повышенной экономической нагрузкой на потребителя.

Ограничение описывается неравенством:

$$\sum \overline{X_{ik}} < l \cdot (\sum q_i + \sum d_i),$$

где $\sum X_{ik}$ - суммарный объем воды, поставляемой пользователям;
 $\sum q_i$ - объем воды естественных источников региона;

$\sum d_i$ – объем донорской воды, поставляемой в регион.

Ограничения показывают, что если суммарный объем воды, поставляемой пользователям $\sum X_{ik}$, превысит объем воды естественных источников $\sum q_i$ и искусственно доставляемой в регион воды $\sum d_i$, то модель должна произвести корректировку в направлении уменьшения потребляемой воды $\sum X_{ik}$.

Для математического моделирования каждого блока системы предлагается использовать подход описания объектно-функциональных связей дискретных объектов с применением методов дискретной математики, а именно, теории графов.

Этапы моделирования для каждого блока системы следующие:

- определение объектов модели (входные данные);
- определение межобъектных связей (входные данные);
- упорядочение межобъектных связей (выходные данные), состоящее в а) составлении исходного графа в виде булевой матрицы; б) разложении исходного графа на максимально сильно связанные подграфы (если таковые существуют в исходном графе); в) упорядочении графа и нахождении порядковой функции графа.

В исходном графе $G(V, L)$ объекты представляют собой множество вершин ($v_i \in V$), а связи – множество дуг ($l_i \in L$). Прямое и обратное транзитивные замыкания определяются соответственно формулами многозначного отображения:

$$Lv_i^+ = \{v_i\} \cup L^1 v_i \cup L^2 v_i \cup L^3 v_i \cup \dots \cup L^n v_i$$

$$Lv_i^- = \{v_i\} \cup L^{-1} v_i \cup L^{-2} v_i \cup L^{-3} v_i \cup \dots \cup L^{-m} v_i,$$

где Lv_i^+ и Lv_i^- – соответственно прямое и обратное транзитивные замыкания,

n и m – длины путей соответственно прямого и обратного транзитивного замыкания.

Сильно связанные подграфы в составе исходного графа определяются тождеством

$$(\forall v_i \in L) Lv_i^+ = L$$

Порядковая функция графа без контуров определяется как упорядоченное множество $N_0, N_1, N_2, \dots, N_r$, где r – минимальное число для которого

$$L N_r^+ = \emptyset \text{ (пустое множество).}$$

Данная модель апробирована на объектах схемы формирования и хозяйственного освоения водных ресурсов Феодосийского региона в 2011 году. В работе приводятся результаты применения модели для упорядочения системы функциональных связей, описывающих движение водных ресурсов Феодосийского региона в естественном и антропогенном каналах.

Обобщение схемы имитационной модели записывается в виде базового уравнения модели интегрированного управления водными ресурсами территориального бассейна: в виде уравнения баланса водных ресурсов для рассматриваемой территории бассейна.

$$Q_{пв} + Q_{пч} + Q_{гр} = (Q_{потр} + Q_{отвед} - Q_{воспр}) + Q_{ест. разгр.},$$

Где $Q_{пв}$ – объем поверхностных вод территориального бассейна;

$Q_{пч}$ – объем внутрипочвенных вод;

$Q_{гр}$ – объем грунтовых вод;

$Q_{потр}$ – объем воды, вовлекаемой в хозяйственную деятельность;

$Q_{отвед}$ – объем водоотведения;

$Q_{воспр}$ – объем воспроизведенной воды, возвращаемой для использования в хозяйственной деятельности;

$Q_{ест. разгр.}$ – объем вод естественной разгрузки с рассматриваемой территории бассейна.

Предложенное уравнение баланса для территориального бассейна позволяет учитывать на всех этапах рассматриваемой цепочки связей и экологические характеристики, в частности, рассчитывать концентрацию веществ в как природных, так и искусственно созданных водных объектах. Смысл такого учета состоит в сопоставлении природно-потенциальных водных ресурсов с теми эксплуатационными водными ресурсами, которые вовлечены или могут быть вовлечены в производство без ущерба для окружающей природной среды, в частности без снижения продуктивности водозаборов, а также качества воды.

Предложенная модель может быть применена для количественной оценки степени экологической опасности (безопасности), в частности, путем учета концентрации загрязняющих веществ и изменения ее на пути к потребителю.

Данная модель использовалась ниже для определения функции движения воды в естественном и антропогенном каналах Феодосийского регионального водного бассейна [4].

Входными данными являются характеристики источников, формирующих водные ресурсы бассейна. Они относятся к двум типам: естественному (атмосферные осадки, подземные воды) и донорскому (воды реки Днепр, поступающие сезонно через Северо-Крымский канал в Феодосийское и Фронтное наливные водохранилища).

Выходными данными являются характеристики стоков, которые для рассматриваемого бассейна представляют собой выбросы централизованной системы канализования, ландшафтные стоки естественного и хозяйственно-бытового происхождения. Все стоки поступают в Черное море. Объекты антропогенного канала представляют собой промежуточные носители, характеризующие процессы водоподготовки, доставки и использования воды потребителями.

В таблице 1 представлены объекты модели, номера которых определяют номера вершин графа. Объекты схемы использования водных ресурсов Феодосийского региона.

Очевидно, что существует значительное превышение объема исходной воды над объемом сточных вод, то есть излишняя вода поступает путем инфильтрации в почву, и это является одной из причин заболачивания значительной территории рассматриваемого бассейна.

Моделирование процессов водопользования позволяет оценить реальный водный баланс территории с учетом экологической безопасности, выявить механизмы воспроизводства воды и обеспечения условий устойчивости экосистем.

Таблица 1. Объекты схемы использования водных ресурсов Феодосийского региона

№	Объект, наименование и назначение	Количественная характеристика (тыс. м ³ /год)	Примечание
1	Атмосферные осадки	10260	Среднегодовая норма – 300 мм. Площадь региона 34,2 км ²
2	Подземные воды, из них: - Субашские источники - Кошка-Чокракский источник с галереей Карагозы (п. 13) - Подпочвенные воды, имеющие выход в виде родников на северных склонах хребта Тепе-Оба - подземные воды, накапливающиеся в колодцах	4958 4745 197 16	В настоящее время не используются ни в питьевых, ни в хозяйственных целях. Вода самоизливается на поля. Расстояние от источника 29 км Ведомственный водовод ж-д станции Айвазовская Днепровской железной дороги. Расстояние – 17 км Оценка по данным экспедиционных работ в рамках проекта MATRA KAP 2004 г. Не оценены
3	Днепровская вода Северо-Крымского канала, поступающая для нужд региона, в т.ч. (4, 5, 6, 7, 8)		По данным за 2005 год
4	Вода для орошения		Нет данных
5	Вода, поступающая на водоочистные сооружения (ВОС) из Феодосийского водохранилища	19460	
6	Вода, поступающая на водоочистные сооружения из Фронтного водохранилища	6487	
7	Вода, поступающая на ВОС	26238	
8	Полив от ВОС	291	
9	Потери неочищенной воды на ВОС	5336	
10	Технологический расход и сброс воды	6350	
11	Потери воды в разводящей сети (утечки)	4195	
12	Объем реализации воды	7184	Население, прочие потребители Феодосийского региона, г. Судак
13	Вода Кошка-Чокракского источника, поступающая в локальную сеть, в т.ч. (14, 15)	197	
14	На обслуживании железно-дорожной станции (депо, составы и т.п.)	79	
15	Населению из Кошка-Чокракского водовода	118	
16	Централизованные канализационные стоки (бытовые и производственные)	6205	Глубоководный коллектор длиной 410 м в Феодосии и 390 м в Приморском
17	Ливневые и хозяйственно- бытовые неочищенные стоки, в том числе (18)	12337	
18	Сток реки Байбуга в Феодосийский залив	7008	

Выводы. Впервые на основе имитационного метода разработана модель объектно-функциональных связей системы интегрированного управления водными ресурсами территориального бассейна. Наиболее перспективным является применение математических методов описания объектно-функциональных связей дискретных объектов. Модель территориальной организации водопользования выражена в виде дерева связей, в основе которой положены векторные показатели направления и объемно-скоростные характеристики поверхностных и подземных водотоков. Алгоритм реализации модели включает следующие этапы: определение объектов модели (входные данные); определение межобъектных связей (входные данные); упорядочение межобъектных связей (выходные данные).

Моделирование процессов водопользования позволяет оценить реальный водный баланс территории с учетом экологической безопасности, выявить механизмы воспроизводства воды и обеспечения условий устойчивости экосистем.

Источники и литература:

1. Тарасенко В. С. Устойчивый Крым. Водные ресурсы : [Сборник статей] / В. С. Тарасенко. – Симферополь : Таврида, 2003. – 413 с.
2. Управління у сфері охорони довкілля та природокористування в Україні: проблеми та шляхи їх вирішення : [Сборник статей] / ВЕГО «МАМА-86». – Київ, 2003. – 160 с.
3. Сироджа И. Б. Комбинаторика и теория графов. Харьков : «ХАИ», 1998. – 197 с.
4. Афанасьева М. Ю. Состояние водных ресурсов Большой Феодосии и проблемы реформирования водного хозяйства / В. С. Тарасенко // Устойчивый Крым. Водные ресурсы. – Симферополь : Таврида, 2003. – с. 252 – 257.