

## КОНЦЕПЦИЯ ИМИТАЦИОННОГО ДИНАМИКО-СТОХАСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ БЕССТОЧНЫХ БАССЕЙНОВ АРАЛА И БАЛКАША

А. Р. Медеу<sup>1</sup>, И. М. Мальковский<sup>2</sup>, Л. С. Толеубаева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Д. г. н., профессор, член-корреспондент НАН РК, директор института  
(Институт географии, Алматы, Казахстан)

<sup>2</sup>Д. г. н., профессор, главный менеджер по управлению проектами  
(Институт географии, Алматы, Казахстан)

<sup>3</sup>Д. г. н., руководитель лаборатории водообеспечения природно-хозяйственных систем и математического моделирования (Институт географии, Алматы, Казахстан)

**Ключевые слова:** система водообеспечения, имитационное динамико-стохастическое моделирование, Арал, Балкаш, метод Монте-Карло.

**Аннотация.** Изложены проблемы развития систем водообеспечения (СВО) Иле-Балкашского и Арало-Сырдаринского бассейнов, типичные для трансграничных бессточных бассейнов аридных и полупустынных территорий Центральной Азии. Отмечено, что СВО Иле-Балкашского и Арало-Сырдаринского бассейнов являются ключевыми звеньями национального водохозяйственного комплекса и имеют схожую хронологическую структуру. Показано, что имитационное динамико-стохастическое моделирование является эффективным средством исследования сложных систем, подверженных случайным воздействиям. Разработан «первый эскиз» имитационной модели развития СВО Иле-Балкашского и Арало-Сырдаринского бассейнов до 2050 года. В основу модели положена методология динамико-стохастического моделирования (метод Монте-Карло). Компьютерная реализация имитационных моделей СВО исследуемых бассейнов выполнена на объектно ориентированном языке программирования C#. Дана оценка адекватности имитационной модели исследуемым системам путем ручных прогонов (процедуры валидации и верификации). Разработана двумерная модель визуализации процесса имитационного моделирования Иле-Балкашской системы водообеспечения. Численными экспериментами подтверждены функциональные возможности модели и достоверность получаемых результатов в реальном диапазоне входных параметров.

**Введение.** Проблемы развития систем водообеспечения Республики Казахстан типичны для трансграничных бессточных бассейнов аридных и полупустынных территорий Центральной Азии. Основными угрозами и вызовами в области водообеспечения природно-хозяйственных систем таких бассейнов являются глобальные и региональные изменения климата, несогласованность межгосударственных водных отношений, использование водозатратных технологий и несовершенство технических средств водорегулирования и водораспределения. Следствиями реализации водных угроз могут стать «водные кризисы», проявляющиеся в обострении межгосударственных водных противоречий, развитии новых очагов экологической нестабильности, срыве программ социально-экономического развития [1, 2].

**Постановка проблемы.** Системы водообеспечения (СВО) Иле-Балкашского и Арало-Сырдаринского бассейнов, представляющие собой совокупность водоисточников и водопользователей с объединяющими их средствами водорегулирования и водораспределения, являются ключевыми звеньями национального водохозяйственного комплекса. В бассейновых СВО формируется 46% возобновляемых ресурсов речного стока, сосредоточено 44% разведанных запасов подземных вод. При этом бассейны являются наиболее водозатратными системами – интегральный спрос на воду населения, производства, природных объектов составляет половину общереспубликанского. Сильна зависимость бассейнов от трансграничного стока: А-С – 89%, И-Б – 44%. СВО являются реальным и потенциальным бассейнами «водного кризиса». Оба бассейна – потенциальные «реципиенты» перебросок речного стока из Ертисского бассейна-«донора» (рисунок 1) [1, 2].

На рисунке 2 приведена схема потенциальных межбассейновых и трансграничных водохозяйственных связей Единой системы водообеспечения Республики Казахстан (ЕСВО РК).



Рисунок 1 – Карта-схема бассейновых систем водообеспечения Казахстана

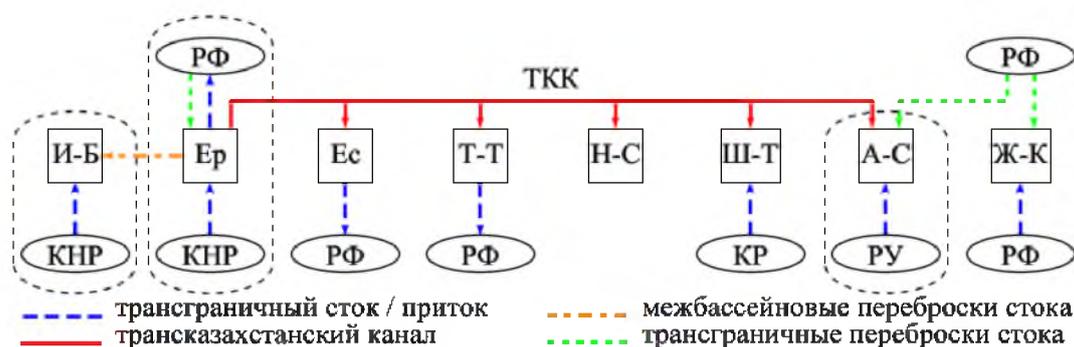


Рисунок 2 – Схема потенциальных межбассейновых и трансграничных водохозяйственных связей ЕСВО РК.

Страны: КНР – Китайская Народная Республика, КР – Кыргызская Республика, РУ – Республика Узбекистан, РФ – Российская Федерация.

Водохозяйственные бассейны: А-С – Арало-Сырдаринский, И-Б – Иле-Балкашский, Ер – Ертысский, Ес – Есильский, Ж-К – Жайык-Каспийский, Н-С – Нура-Сарысуский, Т-Т – Тобыл-Торгайский, Ш-Т – Шу-Таласский.

Трансказахстанский канал (ТКК) станет основой формирования Единой системы водообеспечения Республики Казахстан, объединяющей существующие и перспективные межбассейновые водохозяйственные связи, обеспечивая повышение эффективности использования ресурсов речного стока для достижения социальных, экологических и экономических целей развития страны [2, 3].

Бассейновые системы водообеспечения характеризуются свойствами сложных систем: неопределенностью и стохастичностью, обусловленными однозначной непредсказуемостью масштабов водохозяйственной деятельности в сопредельных странах и вероятностной природой гидрометеорологических процессов и явлений, определяющих величину располагаемых водных ресурсов.

**Методика исследований.** Эффективным средством исследования сложных систем, подверженных случайным воздействиям, является имитационное моделирование, представляющее собой метод проведения на ЭВМ вычислительных экспериментов с математическими моделями, имитирующими поведение реальных объектов во времени в течение заданного периода. При этом

функционирование водных объектов описывается набором алгоритмов, которые имитируют вероятностную природу формирования ресурсов речного стока и динамику спроса на воду природно-хозяйственных систем [4, 5].

На рисунке 3 схематически представлена концепция динамико-стохастической модели бассейновой системы водообеспечения, где использованы укрупненные временные интервалы развития системы  $T$ , агрегированные показатели водных ресурсов  $W$  и спроса на воду  $V$ , укрупненные пространственные единицы  $i$ , оцениваемые совокупностью статистических критериев  $\Phi$  [6].

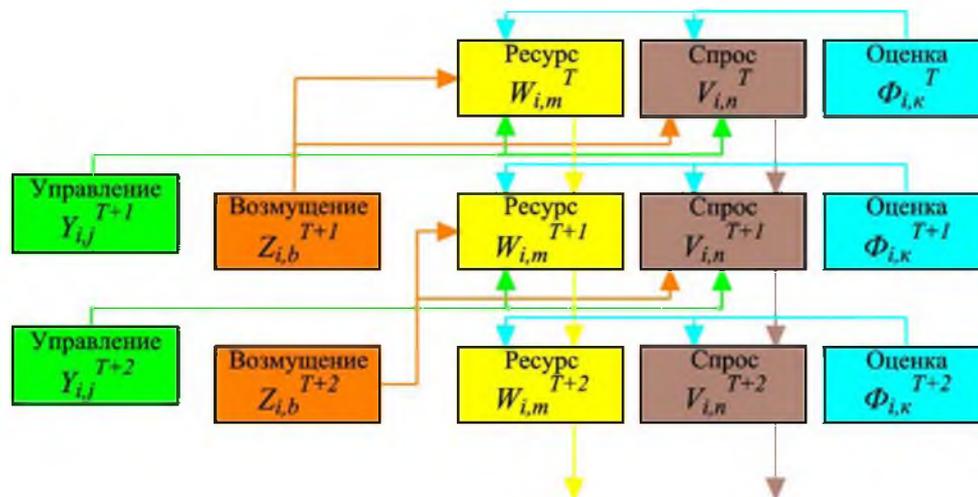


Рисунок 3 – Принципиальная схема модели функционирования и развития системы водообеспечения

Состояние объекта управления бассейновой системы в любой момент времени  $T$  однозначно определяется многомерным вектором – располагаемыми водными ресурсами в целом и распределением их между компонентами  $W_{i,m}^T$ , а также спросом на воду  $V_{i,n}^T$ . В результате определенного воздействия система может переходить из одного состояния в другое с определенной степенью эффективности с точки зрения принятых критериев. Эти воздействия представляются в виде многомерного вектора  $Y_{i,y}^T$ , где его составляющие являются совокупностью средств регулирования и распределения водных ресурсов. Происходящие в системе процессы протекают под влиянием ряда случайных факторов, образующих вектор возмущений  $Z_{i,b}^T$ , компонентами которого является однозначно непредсказуемый режим водоисточников.

**Результаты исследований.** Имитационные объектные модели СВО Иле-Балкашского и Арало-Сырдаринского бассейнов (рисунок 4) имеют аналогичную структуру и включают водоисточники поверхностные  $Q$ ; водоисточники подземные  $G$ ; водопользователи коммунально-бытовые, промышленные, сельскохозяйственные  $V$ ; перераспределение речного стока  $U$ ; наполнение водоемов  $W$ ; русловой сток  $B$ ; водопользователи экологические  $E$ .

Идентичность проблем развития Арало-Сырдаринской и Иле-Балкашской СВО определяется схожестью их хорологических структур:

- возобновляемые ресурсы речного стока бассейнов слагаются из местного и трансграничного стока (с территории КНР и РУ);
- в бассейнах находятся существенные разведанные запасы подземных вод, гидравлически связанные с поверхностными водами;
- основными производственными водопользователями в бассейнах являются сельское хозяйство, промышленность, коммунальное хозяйство, а также рыбное хозяйство и гидроэнергетика;
- лимитирующими природными компонентами бассейновых СВО являются концевые бессточные водоемы: озеро Балкаш и Малое Аральское море, воспринимающие интегральную нагрузку изменений климата и хозяйственной деятельности на водосборах;
- крупными водопользователями в бассейнах являются природные комплексы дельт и пойм рек Иле и Сырдария;

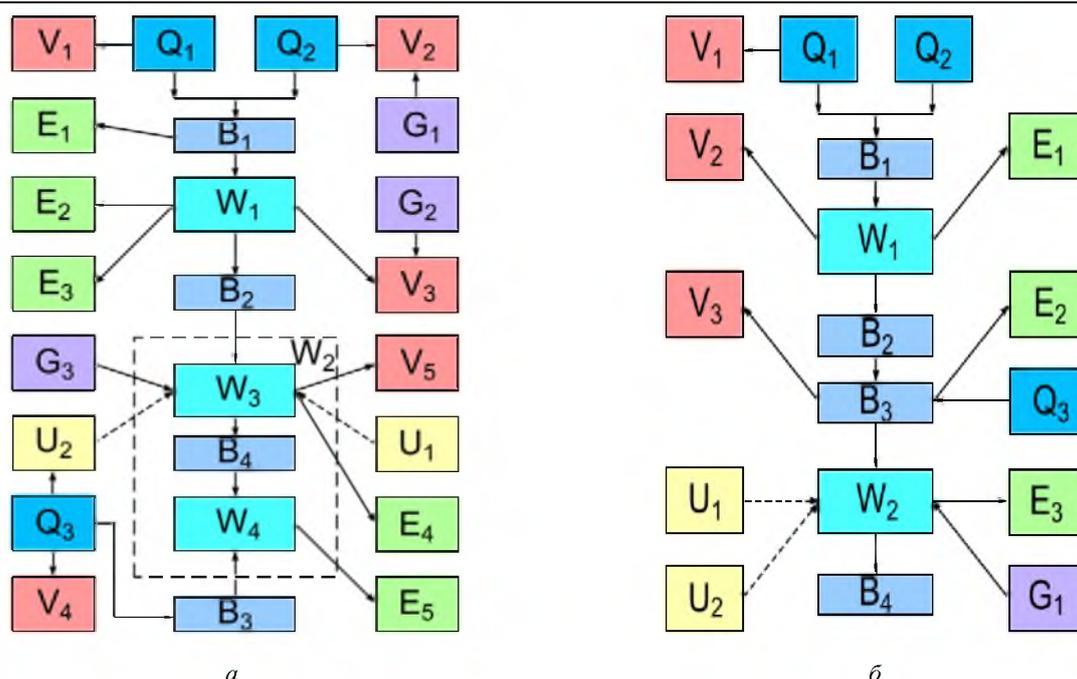


Рисунок 4 – Структура имитационной динамико-стохастической модели СВО:  
 а – Иле-Балкашский бассейн; б – Арало-Сырдаринский бассейн

*Иле-Балкашский бассейн*

Водоисточники поверхностные:

$Q_1$  – трансграничный сток р. Иле (из КНР);

$Q_2$  – местный сток притоков р. Иле;

$Q_3$  – сток восточных рек.

Водоисточники подземные:

$G_1$  – Копа-Илейское месторождение;

$G_2$  – Южно-Балкашское месторождение;

$G_3$  – приток подземных вод в озеро Балкаш.

Водопользователи коммунально-бытовые, промышленные, сельскохозяйственные:

$V_1$  – китайская часть бассейна р. Иле;

$V_2$  – верховья бассейна р. Иле;

$V_3$  – низовья бассейна р. Иле;

$V_4$  – бассейн восточных рек;

$V_5$  – Северное Прибалкашье.

Перераспределение речного стока:

$U_1$  – Буктырма – Балкаш;

$U_2$  – Каратал – Иле.

Наполнение водоемов:

$W_1$  – Капшагайское водохранилище;

$W_2$  – озеро Балкаш;

$W_3$  – Западный Балкаш;

$W_4$  – Восточный Балкаш.

Русловой сток:

$B_1$  – приток р. Иле в Капшагайское вдхр.;

$B_2$  – приток Иле в Западный Балкаш;

$B_3$  – приток восточных рек в Восточный Балкаш;

$B_4$  – балансовый переток Западный Балкаш – Восточный Балкаш.

Водопользователи экологические:

$E_1$  – верховья бассейна;

$E_2$  – Капшагайское водохранилище;

$E_3$  – низовья бассейна;

$E_4$  – Западный Балкаш;

$E_5$  – Восточный Балкаш.

*Арало-Сырдаринский бассейн*

Водоисточники поверхностные:

$Q_1$  – трансграничный сток р. Сырдария (из Республики Узбекистан);

$Q_2$  – местный сток (р. Келес);

$Q_3$  – местный сток (р. Арысь).

Водоисточники подземные:

$G_1$  – приток подземных вод в САМ.

Водопользователи коммунально-бытовые, промышленные, сельскохозяйственные:

$V_1$  – узбекская часть бассейна р. Сырдария;

$V_2$  – водопользователи верхнего бьефа Шардаринского вдхр.;

$V_3$  – водопользователи нижнего бьефа Шардаринского вдхр.

Перераспределение речного стока:

$U_1$  – переброска Ертис-Сырдария;

$U_2$  – переброска Волга-Сырдария.

Наполнение водоемов:

$W_1$  – Шардаринское водохранилище;

$W_2$  – Северное Аральское море.

Русловой сток:

$B_1$  – приток р. Сырдария в Шардаринское вдхр.;

$B_2$  – попуски из Шардаринского вдхр.;

$B_3$  – водоприток в САМ;

$B_4$  – сброс в Большое море.

Водопользователи экологические:

$E_1$  – потери воды в Шардаринском вдхр.;

$E_2$  – русловые экзотраты воды в низовьях;

$E_3$  – Северное Аральское море.

– системными узлами управления водными ресурсами являются гидроузлы с водохранилищами длительного регулирования стока: Капшагайский (многолетний) и Шардаринский (сезонный);

– бассейны являются потенциальными «реципиентами» перебросок речного стока из Ертисского бассейна-«донора».

В основу модели положена методология динамико-стохастического моделирования (метод Монте-Карло). Этот метод, являясь современным способом изучения сложных систем в математике, физике, естественных науках, в настоящей работе впервые применен к решению задач развития НВХК, в том числе водообеспечения природно-хозяйственных систем [7, 8].

Стохастической составляющей модели являются ряды годового стока (ресурсы), полученные по исходным функциям распределения вероятностей методом Монте-Карло (статистических испытаний).

Динамической составляющей модели являются ряды годового спроса на воду, полученные на основе гипотез динамики численности населения и развития производства.

В ходе численных экспериментов рассматриваются различные прогнозные сценарии располагаемых ресурсов, спроса на воду и правил водорегулирования и водораспределения.

Результаты экспериментов оцениваются по критериям водной безопасности.

На рисунке 5 представлена динамико-стохастическая модель водохозяйственного баланса системных гидроузлов управления – Кашагайского и Шардаринского водохранилищ, имитирующая процессы регулирования и распределения речного стока в бассейновых природно-хозяй-

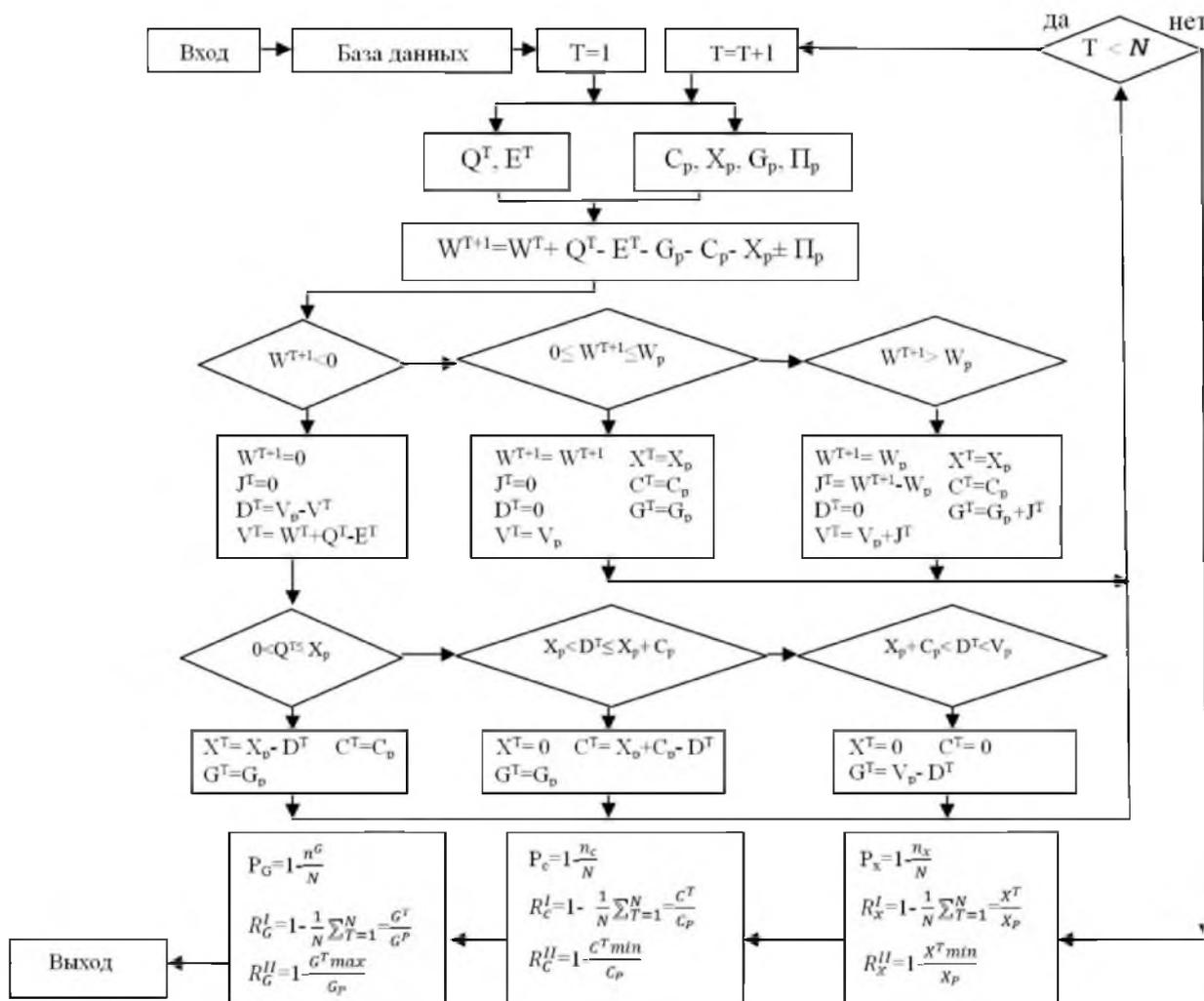
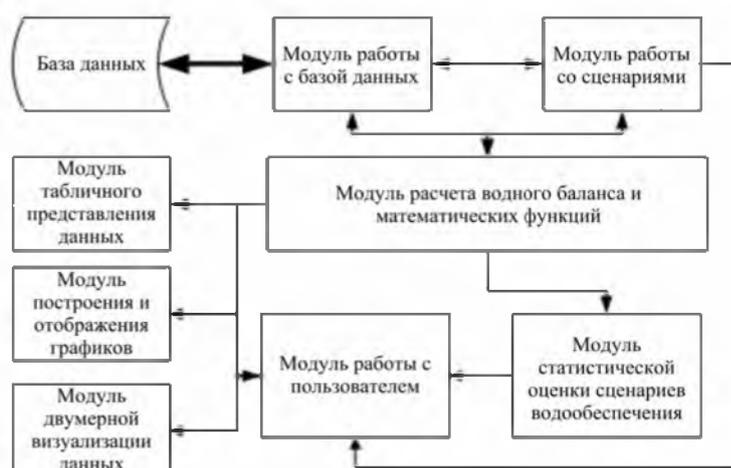


Рисунок 5 – Алгоритм имитационной модели узла управления системы водообеспечения речного бассейна

ственных системах. Модель учитывает возможность реконструкции гидроузлов путем оптимизации проектных параметров и режимов отдачи водохранилищ в условиях изменения спроса на воду и вероятностной изменчивости речного притока, осадков и испарения.

Компьютерная реализация имитационных моделей СВО Иле-Балкашского и Арало-Сырдаринского бассейнов выполнена на объектно ориентированном языке программирования С#. Разработанный программный комплекс включает совокупность модулей: графический интерфейс, математические функции, интерактивный анализ, взаимодействие с операционной системой (рисунок 6) [9–11].

Рисунок 6 –  
Диаграмма модулей  
и связей между ними



Дана оценка адекватности имитационной модели исследуемой системе путем проведения ручных прогонов (процедуры валидации и верификации) [12–14]. Структура возмущающих и управляющих параметров для моделирования сценариев функционирования СВО представлена в таблице.

Структура возмущающих и управляющих параметров для моделирования сценариев функционирования СВО

Входные параметры модели для имитационного эксперимента	Символ	Единица измерения	Управления и возмущения	
			Капшагай	Шардара
Норма годового стока:				
1. Трансграничного	$\overline{Q_1}$	км <sup>3</sup> /год	11,8	14,96
2. Местного	$\overline{Q_2}$	км <sup>3</sup> /год	6,3	1,34
Коэффициент вариации:				
3. Трансграничного стока	$C_{V1}$	б.р.	0,24	0,31
4. Местного стока	$C_{V2}$	б.р.	0,20	0,30
5. Модульный коэфф. годового стока	$k(\phi, C_V)$	б.р.	Таблица	Таблица
6. Отъемы стока в сопр. странах	$V_1$	км <sup>3</sup> /год	0	0
7. Местный водозабор	$V_2$	км <sup>3</sup> /год	1,40	1,41
8. Начальное заполнение вдхр.	$W^{2016}$	км <sup>3</sup>	16,6	5,5
9. Полная емкость водохранилища	$W_{П}$	км <sup>3</sup>	20,0	5,5
10. Регулирующая емкость вдхр.	$W_P$	км <sup>3</sup>	6,6	4,6
11. Мертвый объем водохранилища	$W_M$	км <sup>3</sup>	13,4	0,9
12. Площадь зеркала водохранилища	$F(W)$	км <sup>2</sup>	Таблица	Таблица
13. Отметка уровня водохранилища	$Z(W)$	м	Таблица	Таблица
14. Слой видимого испарения	$\overline{e}$	м/год	0,6	1,15
15. Межбассейновая переброска стока	$G$	км <sup>3</sup>	0	0
16. Водоотъем социальный	$C_P$	км <sup>3</sup>	0,25	0,075
17. Водоотъем хозяйственный	$X_P$	км <sup>3</sup>	0,8	7,65
18. Попуски в нижний бьеф	$\mathcal{E}_P$	км <sup>3</sup>	15,0	13,7
19. Кол-во лет расчетного периода	$n$	б.р.	35	35

Разработана двумерная модель визуализации процесса имитационного моделирования Иле-Балкашской системы водообеспечения с анимацией ее динамики на основе схематических обозначений объектов, их связей и расчетных параметров (рисунок 7). Специально разработанные модули включают алгоритм изменения параметров полигональных объектов в зависимости от входящих в модель расчетных параметров; алгоритм определения толщины линий, характеризующих взаимосвязи водных объектов; алгоритм изменения цвета объектов визуализации, основанный на табличной форме связи цвета и параметров объекта.

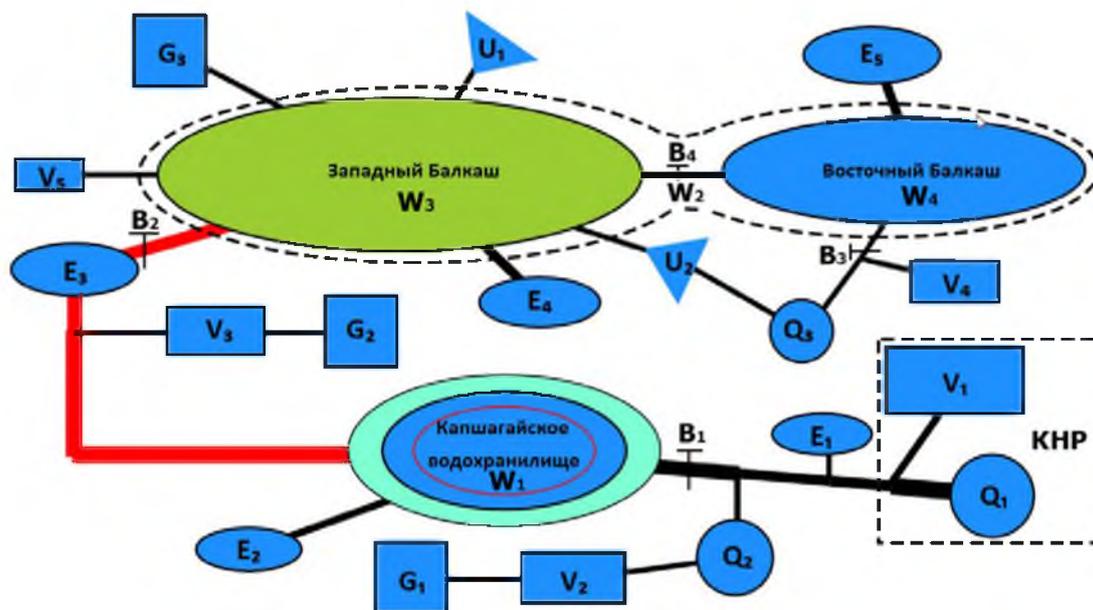


Рисунок 7 – Двумерная компьютерная визуализация имитационной модели развития СВО Иле-Балкашского бассейна

**Выводы.** Впервые создан инструмент (первый эскиз модели) поддержки принятия решений в области стратегического планирования развития Национального водохозяйственного комплекса, в том числе реконструкции системной водохозяйственной инфраструктуры, сохранения и восстановления природных водных объектов, обоснования хозяйственных лимитов водопотребления, совершенствования межгосударственного вододелиения.

Осуществление стратегических мероприятий по водообеспечению бассейновых природно-хозяйственных систем Казахстана требует длительного времени: проектирование, строительство и ввод системообразующих объектов в эксплуатацию занимают до 10–15 лет. Это означает, что научное обеспечение стратегических мероприятий должно начинаться с большой заблаговременностью (порядка 25 лет). Игнорирование этого принципиального положения может привести к крупным просчетам в развитии Национального водохозяйственного комплекса с тяжелыми экономическими ущербами и недопустимыми нарушениями природной среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мальковский И.М. Географические основы водообеспечения природно-хозяйственных систем Казахстана. – Алматы, 2008. – 204 с.
- [2] Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. – В 30 т. – Алматы, 2012.
- [3] Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С. Управление водными ресурсами Республики Казахстан: проблемы и решения // Материалы I международной научно-практической конференции «Гидрология и инновационные технологии в водном хозяйстве». – Астана, 2015. – С. 18-22.
- [4] Экономические и территориальные аспекты управления водохозяйственным комплексом России / Под ред. В. И. Данилов-Данильяна, В. Г. Пряжинской. – М.: РАСХН, 2013. – С. 215-239.
- [5] Прицкер А. Введение в имитационное моделирование и язык СИАМ II. – М.: Мир, 1987. – 646 с.
- [6] Мальковский И.М., Толеубаева Л.С., Толекова А., Долбешкин М.В., Пузиков Е.М. Оценочная модель сценариев развития единой системы водообеспечения Республики Казахстан // Вопросы географии и геоэкологии. – Алматы, 2015. – № 2. – С. 15-25.

- [7] Сванидзе Г.Г. Основы расчета регулирования речного стока методом Монте-Карло. – Тбилиси: Мецниерба, 1964. – 268 с.
- [8] Водно-энергетические расчеты методом Монте-Карло. – М.: Энергия, 1969. – 362 с.
- [9] Лузина Л.И. Компьютерное моделирование. – Томск, 2001. – 105 с.
- [10] Поляков Н.А. История имитационного моделирования <http://simulation.su/uploads/files/default/obzor-polyakov-1.pdf>.
- [11] Manakou V., Tsiakis P., Tsiakis T., Kungolos A. Management of the Hydrological Basin of Lake Koronia using Mathematical Programming <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=15664>.
- [12] Кузьмин Е.В., Соколов В.А. О дисциплине специализации «Верификация программ» // Доклады II научно-методической конференции «Преподавание математики в компьютерных науках». – Ярославль: ЯрГУ, 2007. – С. 91-101.
- [13] Validating Computational Models, Kathleen M. Carley Associate Professor of Sociology Department of Social and Decision Sciences Carnegie Mellon University, September, 1996.
- [14] Андреев А. М., Козлов И. А. Методы построения и верификации математических моделей систем реального времени // Инженерный вестник. – 12 декабря 2014. – С. 607-625.

## REFERENCES

- [1] Malkovskiy I.M. Geographical bases of water supply of natural and economic systems of Kazakhstan. Almaty, 2008. 204 p. (in Russian).
- [2] Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management. Almaty, 2012. Vol. 30 (in Russian).
- [3] Medeu A.R., Malkovskiy I.M., Toleubayeva L.S. Water resources management of the Republic of Kazakhstan: problems and decisions // Materials I of the International scientific and practical conference "Hydrology and Innovative Technologies in a Water Management". Astana, 2015. – P. 18-22 (in Russian).
- [4] Economic and territorial aspects of management of a water management complex of Russia / Under the editorship of V. I. Danilov-Danilyan, V. G. Pryazhinskoy. M.: Russian Academy of Agrarian Sciences, 2013. P. 215-239 (in Russian).
- [5] Pritsker A. Introduction to imitating modeling and SLAM II language. M.: World, 1987. 646 p. (in Russian).
- [6] Malkovsky I.M., Toleubayeva L.S., Tolekov A., Dolbeshkin M. V., Puzikov E.M. Estimated model of scenarios of development of uniform system of water supply of the Republic of Kazakhstan // Questions of geography and geocology. Almaty, 2015. – N 2. – P. 15-25 (in Russian).
- [7] Svanidze G.G. Bases of calculation of regulation of a river drain by Monte-Carlo method. Tbilisi: Metsniyerba, 1964. 268 p. (in Russian).
- [8] Hydro-electric calculations by Monte-Carlo method. M.: Energy, 1969. 362 p. (in Russian).
- [9] Luzina L.I. Computer modeling. Tomsk, 2001. 105 p. (in Russian).
- [10] Polyakov N.A. Istory's Poles of imitating modeling <http://simulation.su/uploads/files/default/obzor-polyakov-1.pdf> (in Russian).
- [11] Manakou V., Tsiakis P., Tsiakis T., Kungolos A. Management of the Hydrological Basin of Lake Koronia using Mathematical Programming <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=15664>.
- [12] Kuzmin E.V., Sokolov V.A. O to discipline of specialization "Verification of programs" // Reports of the II scientific and methodical conference "Teaching Mathematics in Computer Sciences". Yaroslavl: YarGU, 2007. P. 91-101.
- [13] Validating Computational Models, Kathleen M. Carley Associate Professor of Sociology Department of Social and Decision Sciences Carnegie Mellon University, September, 1996.
- [14] Andreyev A.M., Kozlov I.A. Methods of construction and verification of mathematical models of systems of real time // Engineering messenger. 12 December, 2014. P. 607-625.

## БАЛҚАШ ЖӘНЕ АРАЛ АҒЫНСЫЗ АЛАПТАРЫН СУМЕН ҚАМТАМАСЫЗДАНДЫРУ ЖҮЙЕСІНІҢ ИМИТАЦИЯЛЫҚ ДИНАМИКА-СТОХАСТИКАЛЫҚ ҮЛГІЛЕУ КОНЦЕПЦИЯСЫ

А. Р. Медеу<sup>1</sup>, И. М. Мальковский<sup>2</sup>, Л. С. Толеубаева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Г. ғ. д., профессор, ҚР ҰҒА мүше-корреспонденті, институт директоры  
(География институты, Алматы, Қазақстан)

<sup>2</sup>Г. ғ. д., профессор, жобаларды басқару бойынша бас менеджер  
(География институты, Алматы, Қазақстан)

<sup>3</sup>Г. ғ. д., математикалық үлгілеу және табиғи-шаруашылық жүйені сумен қамтамасыздандыру зертханасының жетекшісі (География институты, Алматы, Қазақстан)

**Түйін сөздер:** сумен қамтамасыздандыру, имитациялық динамика-стохастикалық үлгілеу, Арал, Балқаш, Монте-Карло әдісі.

**Аннотация.** Орта Азияның аридтік және жартылай аридтік аймақтарының трансшекаралық ағынсыз алаптары үшін Іле-Балқаш және Арал-Сырдария алаптарын сумен қамтамасыздандыру (СҚЖ) жүйесінің даму мәселелері қарастырылған. Іле-Балқаш және Арал-Сырдария алаптарының СҚЖ ұлттық су шаруашылық кешенінде маңызды буын бөлігі және ұқсас хорологиялық құрылымы болып табылатыны айқындалған. Имитациялық динамика-стохастикалық үлгілеу, кездейсоқ әсерлерге ұшыраған күрделі жүйелерді

зерттеуге тиімді құрал екені айқындалған. 2050 жылғы кезеңіне дейін Іле-Балқаш және Арал-Сырдария алаптарын СҚЖ имитациялық даму үлгісінің «алғашқы эскизі» өңделген. Үлгілеудің негізіне динамика-стохастикалық үлгілеу әдістемесі (Монте-Карло әдісі) енгізілген. Зерттеу алаптарында СҚЖ имитациялық үлгілеуді компьютер арқылы C# бағдарламалау нысанды-бағдар тілінде іске асырылды. Зерттеу жүйесін имитациялық үлгілеуге сәйкестендіру бағасын беру үшін қолмен есептеу жолымен жүргізілген (валидация және верификация рәсімі). Іле-Балқаш сумен қамтамасыздандыру жүйесіне имитациялық үлгілеудің екі өлшемді көзкөрімді үлгілеу процесі құрастырылған. Сандық экспериментті арқылы үлгілеудің функционалды мүмкін шілігі және алынған нәтижелердің сенімділігі кіріс параметрлердің нақты ауқымында дәлелденді.

## THE CONCEPT OF DYNAMIC-STOCHASTIC MODEL OF WATER SUPPLY SYSTEMS ARAL AND BALKASH RIVER BASIN

A. R. Medeu<sup>1</sup>, I. M. Malkovsky<sup>2</sup>, L. S. Toleubayeva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Doctor of Geographical Sciences, professor, director of institute  
(Institute of Geography, Almaty, Kazakhstan)

<sup>2</sup>Doctor of Geographical Sciences, professor, the chief manager on management of projects  
(Institute of Geography, Almaty, Kazakhstan)

<sup>3</sup>Doctor of Geographical Sciences, head of Laboratory of Water Provision for Natural-Economic Systems and Mathematical Modeling (Institute of Geography, Almaty, Kazakhstan)

**Keywords:** system of water supply, imitating dinamiko-stochastic modeling, Aral, Balkash, Monte-Carlo method.

**Abstract.** The problems of development of systems of water supply (SVO) of Ile-Balkashsky and Aralo-Syrdariinsky basins typical for cross-border barred basins of arid and semi-arid territories of Central Asia are shown. It is noted that SVO of Ile-Balkashsky and Aralo-Syrdariinsky basins are key links of a national water management complex and have similar horologichesky structure. It is shown that imitating dinamiko-stochastic modeling is an effective remedy of research of the difficult systems subject to casual influences. "the first sketch" of imitating model of development of SVO of Ile-Balkashsky and Aralo-Syrdariinsky basins for the period till 2050 is developed. The methodology of dinamiko-stochastic modeling is the basis for model (Monte-Carlo method). Computer realization of the SVO imitating models of the studied pools is executed in the object-oriented C# programming language. The assessment of adequacy of imitating model to the studied systems by carrying out manual runs (procedure of validation and verification) is made. The two-dimensional model of visualization of process of imitating modeling of Ile-Balkashsky system of water supply is developed. Numerical experiments have confirmed functionality of model and reliability of the received results in the actual range of input parameters.