

УДК 556.182

## ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ВАРИАНТОВ РАЗВИТИЯ МЕЛИОРАЦИЙ В СОСТАВЕ СХЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

© 2015 г. И.Ф. Юрченко<sup>1</sup>, А.К. Носов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», Москва

<sup>2</sup> ОАО «Северо-Кавказский институт по проектированию водохозяйственного и мелиоративного строительства», г. Пятигорск

**Ключевые слова:** оптимизация, модель, мелиорация, схема, водохозяйственный комплекс.

Выполнены информационно-аналитические исследования методических подходов к размещению мелиоративных объектов в границах водосбора и к схеме их обеспечения водными ресурсами. Разработана модель многокритериальной оптимизации для формирования вариантов развития мелиораций при реализации региональных программ социально ориентированного экономического развития агропромышленного комплекса и для формирования перечня водоохраных мероприятий в рамках СКИОВО региона.

Представлены процедуры формирования функционально-технологической схемы размещения мелиоративных объектов в границах водосбора, обеспечивающие снижение трудоемкости процесса формирования возможных вариантов привязки мелиоративных систем к источникам водных ресурсов и сбросов при обеспечении репрезентативности рассматриваемых вариантов.



И.Ф. Юрченко



А.К. Носов

## ВВЕДЕНИЕ

Решение проблем рационального использования земельных и водных ресурсов, обеспечивающего эффективность финансирования программ социально ориентированного экономического развития агропромышленного комплекса (АПК), может быть достигнуто на основе оптимизации вариантов развития и территориального размещения объектов водных мелиораций и инфраструктур, объединяющих их с источниками водных ресурсов в регионе. Актуальность использования оптимизационных моделей развития и территориального размещения объектов водных мелиораций связана как с возрастающим истощением и загрязнением поверхностных и подземных источников при нерациональном водопользовании и водопотреблении, так и с необходимостью повышения эффективности управления водохозяйственным комплексом (ВХК) на основе внедрения современной методологии принятия управленческих решений.

Базовым документом «формирования инструментария принятия управленческих решений» при стратегическом планировании развития ВХК России являются схемы комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) [1], в рамках которых устанавливаются целевые показатели результатов реализации намечаемых водохозяйственных и водоохраных мероприятий:

- показатели качества воды в водных объектах;
- лимиты (предельные объемы) забора (изъятия) водных ресурсов из водного объекта, лимиты (предельные объемы) сброса сточных вод, соответствующих нормативам качества;
- квоты забора (изъятия) водных ресурсов из водных объектов и сброса сточных вод, соответствующих нормативам качества, выделяемые для каждого субъекта Российской Федерации;
- показатели снижения негативных последствий наводнений и других видов негативного воздействия вод.

Оценка антропогенных нагрузок и возможных ущербов от негативного воздействия вод на территории речного бассейна выполняется для конечного числа природных и искусственных водных объектов, выделяемых (идентифицируемых) в составе разрабатываемой СКИОВО.

В реестр таких водных объектов предлагается включать «модельные водные объекты» (МВО), представляющие природно-антропогенные водные объекты определенного типа, эколого-хозяйственное состояние которых в перспективе для достижения целей устойчивого водопользования должно удовлетворять научно-обоснованному комплексу требований-ограничений, нормативов и правил ведения хозяйственной и иной деятельности при реализации стратегически ориентированных водоохраных и водохозяйственных мероприятий [2].

СКИОВО разрабатываются в соответствии с концепцией устойчивого развития территорий на основе бассейнового принципа управления водными ресурсами и программно-целевого (нормативного) подхода к решению комплексных эколого-водохозяйственных проблем [2, 3]. Бассейновый принцип управления обеспечивает пространственную организацию водосборной территории с учетом экосистемы водного объекта и естественных функциональных ограничений, связанных с планируемой эколого-хозяйственной реконструкцией водного объекта.

Методология управления устойчивым водопользованием на основе программно-целевого подхода предполагает приоритет целей и их реализацию, обеспечивая последовательность стратегического планирования управленческих решений «цели – прогноз – программы – ресурсы – план». Она отличается более развитым механизмом обратной связи, что позволяет корректировать не только систему водопользования в соответствии с планируемыми мероприятиями, но и оптимизировать план достижения поставленной цели в соответствии с изменяющимися условиями внешней и внутренней среды.

Задача формирования вариантов развития и территориального размещения объектов водных мелиораций в условиях ограниченности водных ресурсов при разработке СКИОВО относится к слабо структурируемым задачам, которые характеризуются «большой размерностью, высокой капиталоемкостью; обширным диапазоном альтернатив достижения целей, несовершенством современной техники, необходимой для решения стоящих проблем; неопределенностью стоимостных и временных требований...», что требует учета при ее моделировании [4].

Согласно действующим нормативно-методическим документам оценка принимаемых управленческих решений по рациональному использованию и охране водных объектов должна «отражать» факт «соответствия/ несоответствия» выполнению «законодательных и других требований» к их качеству и требованиям к системам управления водными ресурсами [5], то есть отвечать одновременно требованиям нескольких критериев. При этом возможны варианты, когда выполнение требований одного критерия противоречит требованиям других. Например, обеспечение устойчивого развития водохозяйственного комплекса региона требует снижения антропогенной нагрузки на водные объекты, в то время как потребность в экономическом развитии территории связана с ростом водопотребления. Следовательно, для выбора вариантов использования земельных и водных ресурсов при реализации региональных программ социально ориентированного экономического развития АПК в рамках СКИОВО региона необходима разработка интегральной оценки качества варианта,

обеспечивающей рациональный баланс в сочетании порой противоречивых частных целевых показателей качества. В роли таких показателей должны выступать экологические, социальные и экономические показатели эффективности варианта.

Интегральная оценка (целевая функция), обеспечивающая формализованное описание качества планируемого варианта развития мелиораций в составе СКИОВО, в целом в значительной мере определяется выбором частных целевых показателей качества, отражающих различные аспекты эколого-хозяйственного состояния конкретных водных объектов региона.

Вышесказанное определило подходы к построению концептуальной модели принятия обоснованных управленческих решений по рациональному использованию и охране водных ресурсов региона при планировании развития и размещения мелиораций.

#### **ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ВАРИАНТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРОГРАММ СОЦИАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ АПК**

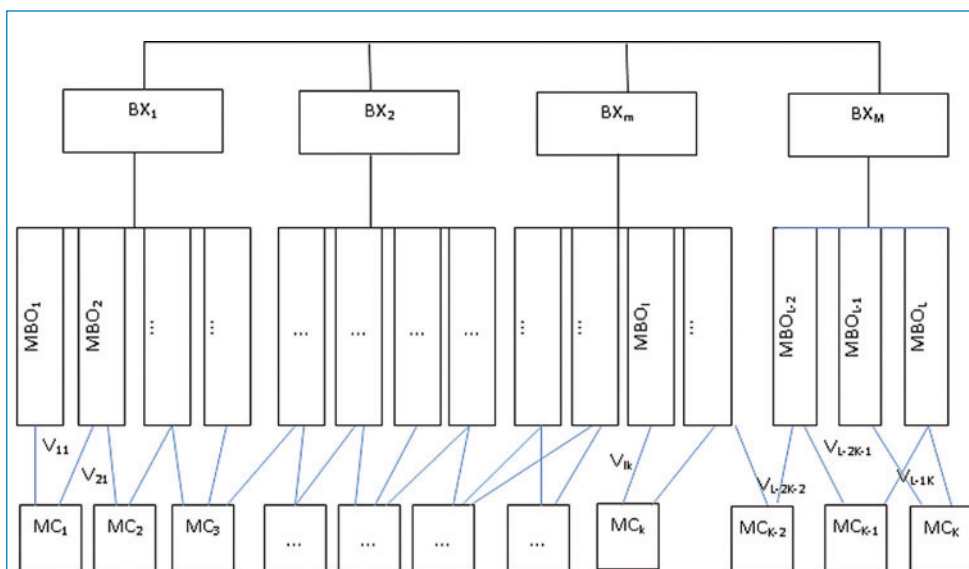
Постановка задачи разработки оптимизационной модели формирования вариантов использования земельных и водных ресурсов при реализации региональных программ социально ориентированного экономического развития АПК на содержательном уровне осуществляется при следующих предпосылках:

- требуется сформировать допустимые варианты развития и размещения мелиораций и инфраструктур, объединяющих их с источниками водных ресурсов, в рамках СКИОВО региона;
- выбрать оптимальный вариант использования земельных и водных ресурсов при реализации региональных программ социально ориентированного экономического развития АПК, характеризующийся минимумом отрицательных свойств, оцениваемых по величине негативного влияния антропогенных нагрузок на водные объекты и затрат на водоохраные мероприятия.

Для сокращения множества возможных вариантов антропогенных нагрузок на водные объекты в результате развития и размещения мелиоративных систем оценку негативного влияния и ожидаемых ущербов предлагается выполнять по состоянию и антропогенной нагруженности МВО, выделенных в составе разрабатываемой СКИОВО (см. рисунок).

Варианты развития и размещения мелиоративных систем в регионе формируются в зависимости от варьирования планируемых сценариев привязки мелиоративных объектов к МВО в составе СКИОВО.

В качестве оптимизационной модели принятия обоснованных многоцелевых (многокритериальных) управленческих решений по комплексным эколого-хозяйственным проблемам развития мелиораций, реализующей стратегию устойчивого водопользования в регионе, предлагается оптимизационная модель оценки качества варианта привязки мелиоративных систем к МВО. Оценка варианта определяется суммой оценок качества допустимых сценариев привязки объектов мелиорации к МВО, интегрально учитывающих негативное влияние сценария антропогенной нагрузки и затраты на водоохранные мероприятия при реализации этого сценария.



Примечание:  $VX_m$  – водохозяйственные участки,  $m$  – индекс водохозяйственного участка;  $m = 1, \dots, M$ ;  $M$  – количество водохозяйственных участков.

$MBO_l$  – модельные объекты;  $l$  – индекс модельного объекта;  $l = 1, \dots, L$ ;  $L$  – количество модельных объектов.

$MC_k$  – мелиоративные системы,  $k$  – индекс мелиоративной системы;  $k = 1, \dots, K$ ;  $K$  – количество мелиоративных систем.

$V_{lk}$  – сценарий привязки  $MC_k$  к  $MBO_l$ .

**Рисунок.** Структурная схема формирования сценариев развития и размещения мелиораций в привязке к МВО.

Расчетным является вариант, оценка которого соответствует минимуму суммы интегральных оценок качества сценариев привязки мелиоративных систем к МВО, которая определяется по зависимости (1).

$$V_{ml}^C = \sum_{n=1}^N Z_{ln} d_{ln} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $V_{ml}^C$  – суммарная оценка качества  $m$ -го варианта размещения мелиоративных систем в составе СКИОВО региона, учитывающая негативное воздействие антропогенной нагрузки на МВО в зависимости от вариации сценариев привязки к каждому из них объектов мелиорации ( $Z_{ln}$ ) и соответствующие этому сценарию затраты на водоохранные мероприятия  $d_{ln}$ ;

$Z_{ln}$  – оценка негативного воздействия  $n$ -го сценария привязки мелиоративных систем к  $l$ -му МВО;

$l$  – индекс модельного водного объекта,  $l = 1, \dots, L$ ;  $L$  – общее количество МВО;

$n$  – индекс возможного сценария привязки мелиоративных систем к конкретному МВО,  $n = 1, \dots, N$ ;  $N$  – количество сценариев привязки МС к МВО;

$d_{ln}$  – оценка затрат на природоохранные мероприятий для  $n$ -го сценария привязки мелиоративных систем к  $l$ -му МВО,

$$d_{ln} = K_{lnk} / K_{lnmax}, \quad (2)$$

где  $K_{lnk}$  – затраты на природоохранные мероприятия  $n$ -го сценария привязки  $k$ -ой мелиоративной системы к  $l$ -му МВО;

$K_{lnmax}$  – максимально возможные затраты на природоохранные мероприятия  $n$ -го сценария привязки мелиоративных систем к  $l$ -му МВО;

$k$  – индекс мелиоративной системы,  $k = 1, \dots, K$ ;  $K$  – общее количество мелиоративных систем.

Оценку негативного воздействия  $n$ -го сценария размещения мелиоративных систем для  $l$ -го МВО, выполняют по зависимости

$$Z_{ln} = 1 - \prod_{k=1}^K \left( 1 - \prod_{j=1}^J (1 - \beta_{lnkj} Z_{lnkj}) \right), \quad (3)$$

где  $Z_{lnkj}$  –  $j$ -ый частный показатель нагрузки на  $l$ -ый МВО в  $n$ -ом сценарии привязки к нему  $k$ -ой мелиоративной системы;

$\beta_{lnkj}$  – весовой коэффициент (значимость)  $j$ -го частного показателя нагрузки;

$j$  – индекс частного показателя нагрузки на  $l$ -ый МВО;  $j = 1, \dots, J$ ;  $J$  – количество частных показателей;

$n$  – индекс возможного сценария привязки  $k$ -ой мелиоративной системы к конкретному МВО,  $n = 1, \dots, N$ ;  $N$  – количество сценариев;  
 $l$  – индекс модельного водного объекта;  $l=1, \dots, L$ ;  $L$  – общее количество МВО;  
 $k$  – индекс мелиоративной системы;  $k = 1, \dots, K$ ;  $K$  – общее количество мелиоративных систем.

В число частных эколого-экономических целевых показателей качества варианта развития и размещения мелиоративного объекта и инфраструктур, объединяющих его с водисточником и водосбросом, в первую очередь предлагается включить следующие показатели антропогенной нагрузки МВО:

– *водозабор*. Оценивается, как отношение  $i$ -го объема водозабора  $k$ -м мелиоративным объектам из  $l$ -го МВО ( $W_{lki}$ ) к максимально возможному объему забора водных ресурсов ( $W_{lmax}$ ) из МВО;  $z_j = W_{lki} / W_{lmax}$ , где  $j$  – индекс частного целевого показателя;

– *сброс*. Оценивается через отношение объемов сброса поверхностных и коллекторно-дренажных вод ( $O_{lki}$ ) к максимально возможному объему сброса в МВО ( $Q_{lmax}$ ),  $z_j = O_{lki} / Q_{lmax}$ ;

– *загрязнение*. Определяется отношением поступившей в МВО с мелиорируемых земель массы загрязняющих веществ ( $G_{lki}$ ) к максимально допустимой массе поступления в МВО загрязняющих веществ ( $G_{lmax}$ ),  $z_j = G_{lki} / G_{lmax}$ .

Важной задачей методического плана становится разработка рекомендаций по формированию множества различных сценариев использования земельных и водных ресурсов и определению весовых коэффициентов  $\beta_j$  (значимости негативного воздействия),  $j$ -го частного целевого показателя нагрузки мелиоративной системы на МВО, методические аспекты которых представлены в следующих разделах.

### **ВЕСОВЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ (ЗНАЧИМОСТЬ) ЧАСТНЫХ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАГРУЗКИ ОТ МЕЛИОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ НА МВО**

Весовые коэффициенты применяют для сопоставления упорядоченных показателей в едином комплексном измерителе качества и эффективности. Необходимость в определении весовых коэффициентов частных целевых показателей воздействия мелиоративных систем на МВО возникает в связи с различиями в относительной важности последних в каждой конкретной ситуации принятия решений по развитию и размещению мелиораций. Они позволяют осуществить ранжирование ЦПК по значимости.



Для определения весовых коэффициентов показателей используется экспертная информация. Вес показателей указывается экспертом непосредственно в долях единицы или определяются путем обработки исходной экспертной информации с применением специальных методов. С учетом имеющегося в сфере мелиорации опыта использования экспертных оценок для принятия обоснованных решений в этом случае предлагается использовать метод парных сравнений значимости показателей [6], теоретическое обоснование которого наиболее полно представлено в [7– 9].

Определение весовых коэффициентов методом парных сравнений начинается с формирования исходной экспертной информации, представленной  $N(N-1)/2$  парными оценками экспертом  $N$  показателей по степени их значимости.

В результате анкетного опроса экспертов заполняются матрицы парных сравнений показателей (табл. 1), реализованных в виде таблиц бинарных отношений типа «показатель–показатель», структура которых аналогична турнирным спортивным таблицам. Искомые весовые коэффициенты объектов ( $\beta_j$ ) определяются после обработки указанных таблиц.

Элементами матриц парных сравнений  $A^q = \|a_{ik}^q\|$  являются экспертные оценки  $a_{ik}^q$  предпочтительности  $i$ -го показателя над  $k$ -м в  $q$ -й анкете,  $i, k = \overline{1, N}$ ;  $q = \overline{1, n}$ .

Элементы  $a_{ik}^q$  могут отражать факт предпочтительности  $i$ -го показателя по сравнению с  $k$ -м показателем в порядковой шкале. В этом случае

$$a_{ik}^q = \begin{cases} 2, & \text{если } i\text{-й показатель значимее } k\text{-го показателя;} \\ 1, & \text{если } i\text{-й и } k\text{-й показатели «эквивалентны»;} \\ 0, & k\text{-й объект значимее } i\text{-го показателя.} \end{cases}$$

Причем  $a_{ik}^q + a_{ki}^q = 2$ ;  $a_{ii}^q = 1$ .

Представление экспертной информации в виде матриц парных сравнений повышает надежность результата:

- за счет облегчения работы экспертов, получающих возможность единовременной оценки только двух показателей при независимости каждой последующей оценки от предыдущей;
- обеспечения большего числа сравнений каждого показателя с другими, повышающих точность оценки;
- отсутствия требования транзитивности оценки:  $i$ -й показатель может быть значимее  $k$ -го,  $k$ -й значимее  $j$ -го и в тоже время  $j$ -й – значимее  $i$ -го;
- возможности использования аппарата статистических критериев для оценки степени согласованности экспертных суждений.

Весовой коэффициент  $\beta_j$  определяется отношением частоты предпочтений всеми экспертами  $j$ -го показателя экспертизы  $F_j$  к общему числу



оценок одного эксперта  $C$  [10]. Аналитическая запись алгоритма представлена в формуле

$$\beta_j = \frac{F_j}{C}, \quad (4)$$

где  $F_j$  – частота предпочтения всеми экспертами  $j$ -го показателя экспертизы определяется по формуле (5)

$$F_j = \frac{\sum_{i=1}^n K_{ij}}{n}, \quad (5)$$

где  $K_{ij}$  – число предпочтений  $i$ -м экспертом  $j$ -го объекта экспертизы;

$n$  – количество экспертов;

$C$  – общее число оценок одного эксперта, определяемое по формуле:

$$C = \frac{m(m-1)}{2}, \quad (6)$$

где  $m$  – число показателей качества.

В табл. 1 приведен пример определения весов для показателей нагрузки на МВО в варианте размещения мелиоративного объекта с использованием матрицы парных сравнений, полученной на основе оценки показателей одним экспертом. Степень предпочтения экспертом  $j$ -го показателя определялась как сумма оценок в соответствующей строке матрицы. Вес показателя – отношением степени предпочтения показателя к сумме оценок по всем показателям.

**Таблица 1.** Матрица парных сравнений и веса для показателей нагрузки на МВО в варианте размещения мелиоративного объекта

Номер и название показателя	Номера и экспертные оценки предпочтительности показателей			Вес ЦПК
	1	2	3	
1. Объем водозабора из МВО	0	2	2	0,67
2. Объем сбросных вод в МВО	0	0	1	0,165
3. Суммарная масса загрязняющих веществ, поступающих в МВО	0	1	0	0,165

Для определения размерности множества требующихся вариантов расчета весовых коэффициентов показателей нагрузки на водные объекты в зависимости от варианта использования земельных и водных ресурсов разработана специальная таблица. Пример определения необходимых вариантов для расчета весовых коэффициентов показателей нагрузки для МВО представлен в табл. 2.

**Таблица 2.** Формирование множества весовых показателей нагрузки на МВО по вариантам размещения мелиоративных систем

Модельные объекты	Мелиоративные системы (МС)				
	МС <sub>1</sub>	...	МС <sub>к</sub>	...	МС <sub>К</sub>
МВО <sub>1</sub>	$\beta_{11j; j=1, J}$	...	...	...	$\beta_{1Kj; j=1, J}$
...	...	...	...	...	...
МВО <sub>l</sub>	...	...	$\beta_{lkj; j=1, J}$	...	$\beta_{lKj; j=1, J}$
...	...	...	...	...	...
МВО <sub>L</sub>	$\beta_{L1j; j=1, J}$	...	$\beta_{Lkj; j=1, J}$	...	$\beta_{LKj; j=1, J}$

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ЭФФЕКТИВНОГО ВАРИАНТА РАЗВИТИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В РАМКАХ СКИОВО РЕГИОНА**

Формирование множества допустимых вариантов развития и размещения мелиоративных систем при реализации оптимизационной модели (1) использования земельных и водных ресурсов в рамках СКИОВО региона и выбор эффективного предлагается осуществлять в следующей последовательности:

- определение возможных и установление допустимых сценариев привязки мелиоративных систем к МВО региона для всех мелиоративных систем и МВО региона;
- выбор (из допустимых) оптимального сценария привязки отдельно взятой мелиоративной системы к конкретному МВО. В качестве оптимального принимается вариант, обеспечивающий минимум интегральной оценки отрицательных свойств сценария привязки, учитывающей антропогенные нагрузки на МВО от планируемого размещения мелиоративной системы и соответствующую этому сценарию стоимость водоохраных мероприятий;
- объединение оптимальных сценариев привязки мелиоративных систем по каждому отдельно взятому МВО в оптимальный вариант развития и размещения мелиораций в рамках СКИОВО региона.

Реализовать эти процедуры предлагается с использованием специально разработанной функционально-технологической схемы размещения мелиоративных объектов в границах водосбора и схемы их обеспечения водными ресурсами (табл. 3–5).

Планируемые (допустимые) сценарии привязки мелиоративных систем к МВО региона идентифицируются ячейками таблицы, строки которой представлены МВО региона, а столбцы МС (см. табл. 3).

На первом этапе рассчитывается по всем мелиоративным системам интегральная оценка ( $V_{ik} = Z_{ikn} d_{ikn}$ ) для  $N$  допустимых сценариев привязки  $k$ -й мелиоративной системы к  $L$  модельным объектам региона (см. табл. 4).

Оптимальному сценарию привязки  $k$ -й мелиоративной системы соответствует оптимальная интегральная оценка, определяемая как минимальное значение множества интегральных оценок сценариев привязки этой системы, представленного в столбце табл. 4 –  $\min \{Z_{ik1} d_{ik1}, \dots, Z_{ikN} d_{ikN}\}$ .

Оптимальный вариант размещения мелиоративных систем по МВО региона определяется путем объединения для каждого МВО мелиоративных систем, обеспечивающих оптимальность сценариев их привязки к МВО (табл. 5).

**Таблица 3.** Функционально-технологическая схема формирования сценариев размещения мелиоративных объектов в границах водосбора

Модельные водные объекты	Мелиоративные системы				
	МС <sub>1</sub>	...	МС <sub>k</sub>	...	МС <sub>K</sub>
МВО <sub>1</sub>	V <sub>111</sub>	...	...	...	V <sub>1K1</sub>
...	...	...	...	...	...
МВО <sub>l</sub>	...	...	V <sub>lk1</sub>	...	V <sub>1K2</sub>
...	...	...	...	...	...
МВО <sub>L</sub>	V <sub>L1M</sub>	...	V <sub>LkN</sub>	...	V <sub>LKI</sub>

Примечание:  $N, M, l$  – количество допустимых сценариев привязки каждой МС к МВО региона. Остальные обозначения описаны выше.

**Таблица 4.** Интегральные оценки сценариев размещения мелиоративных систем в границах водосбора

Модельные водные объекты	Мелиоративные системы				
	МС <sub>1</sub>	...	МС <sub>k</sub>	...	МС <sub>K</sub>
МВО <sub>1</sub>	$V_{11} = Z_{111} d_{111}$	...	...	...	$V_{1K} = Z_{1K1} d_{1K1}$
...	...	...	...	...	...
МВО <sub>l</sub>	...	...	$V_{lk} = Z_{lk1} d_{lk1}$	...	$V_{lK} = Z_{lKi} d_{lKi}$
...	...	...	...	...	...
МВО <sub>L</sub>	$V_{L1} = Z_{L1M} d_{L1M}$	...	$V_{Lk} = Z_{LkN} d_{LkN}$	...	$V_{LK} = Z_{LKi} d_{LK1}$
Оптимальная оценка привязки МС <sub>k</sub> к $l$ -му МВО	$V_{ll} = \min \{Z_{l11} d_{l11}, \dots, Z_{l1M} d_{l1M}\}$	...	$V_{lk} = \min \{Z_{lk1} d_{lk1}, \dots, Z_{lkN} d_{lkN}\}$	...	$V_{lK} = \min \{Z_{lK1} d_{lK1}, \dots, Z_{lKi} d_{lKi}\}$

**Таблица 5.** Структурная схема формирования оптимальных вариантов привязки мелиоративных систем к МВО региона

Модельные водные объекты	Мелиоративные системы					Вариант оптимальной привязки $MC_k$ по МВО <sub><i>l</i></sub>
	$MC_l$	$MC_2$	$MC_k$	...	$MC_K$	
МВО <sub>1</sub>	$V_{11} = \min(V_{11}, \dots, V_{L1})$			...	$V_{1K} = \min(V_{1K}, \dots, V_{LK})$	$V_{1k} = \{MC_{11}, \dots, MC_{1K}\}$
...	...	...	...	...	...	...
МВО <sub><i>l</i></sub>			$V_{lk} = \min(V_{1k}, \dots, V_{Lk})$	...		$V_{lk} = \{MC_{lk}\}$
...	...	...	...	...	...	...
МВО <sub><i>L</i></sub>		$V_{L2} = \min(V_{12}, \dots, V_{L2})$		...		$V_{Lk} = \{MC_{L2}\}$
Оптимальный вариант развития и размещения мелиораций в рамках СКИОВО						$V_{LK} = \{MC_{11}, \dots, MC_{1K}, \dots, MC_{lk}, \dots, MC_{L2}\}$

Оптимальный вариант развития и размещения мелиораций в рамках СКИОВО соответствует множеству  $V_{LK} = \{MC_{11}, MC_{1K}, \dots, MC_{lk}, \dots, MC_{L2}\}$  вариантов оптимальной привязки  $MC_k$  к МВО<sub>1</sub> региона (см. последний столбец табл. 5).

Изложенные выше подходы к построению концептуальной модели принятия обоснованных управленческих решений по рациональному использованию и охране водных ресурсов региона при планировании развития и размещения мелиораций реализованы в составе проекта нормативно-методического документа, разработанного в формате рекомендаций.

### ВЫВОДЫ

Рациональное использование земельных и водных ресурсов, обеспечивающее эффективность вложения средств в программы социально ориентированного экономического развития АПК, должно достигаться на основе оптимизации вариантов развития и территориального размещения объектов водных мелиораций и инфраструктур, объединяющих их с источниками водных ресурсов в регионе.

Выбор вариантов использования земельных и водных ресурсов в рамках СКИОВО региона необходимо выполнять по результатам интегральной оценки качества, обеспечивающей рациональный баланс в сочетании противоречивых частных целевых показателей качества. В роли таких показателей выступают экологические, социальные и экономические показатели эффективности варианта.

Для сокращения размерности множества вариантов оценку негативно-го влияния антропогенных нагрузок и возможных ущербов от воздействия вод в результате развития и размещения мелиоративных систем на территории речного бассейна предлагается осуществлять по состоянию и антропогенной нагруженности модельных водных объектов (МВО), выделяемых в составе разрабатываемой СКИОВО.

В качестве оптимизационной модели принятия обоснованных многоцелевых (многокритериальных) управленческих решений по комплексным эколого-хозяйственным проблемам развития мелиораций, реализующей стратегию устойчивого водопользования в регионе, рекомендуется оптимизационная модель оценки качества варианта привязки мелиоративных систем к МВО. Оценка варианта определяется суммой оценок качества допустимых сценариев привязки объектов мелиорации к МВО, интегрально учитывающих негативное влияние сценария антропогенной нагрузки и затраты на водоохраные мероприятия при реализации этого сценария. Расчетным является вариант, оценка которого соответствует минимуму суммы интегральных оценок качества сценариев привязки мелиоративных систем к МВО.

Решена важная задача методического плана в части разработки рекомендаций по формированию множества различных сценариев использования земельных и водных ресурсов и определению весовых коэффициентов  $\beta_j$ , (значимости негативного воздействия) частного целевого показателя нагрузки мелиоративной системы на МВО. Для практической реализации процедур формирования множества различных сценариев размещения мелиоративных систем специально разработана функционально-технологическая схема привязки объектов мелиорации к МВО в границах водосбора.

Разработанные в составе исследований подходы к построению концептуальной модели принятия обоснованных управленческих решений по рациональному использованию и охране водных ресурсов региона при планировании развития и размещения мелиораций представлены в проекте нормативно-методического документа в формате рекомендаций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов. Утв. Приказом Минприроды России от 4 июля 2007 г. № 169, зарег. в Минюсте РФ 10 августа 2007 г.
2. *Перелет Р.А., Умывакин В.М., Шевчук А.В.* Методологические основы создания модельных водных объектов на стадии стратегического планирования устойчивого водопользования // Труды ИСА РАН. 2009. Т. 42. С. 174–197.

3. Обоснование стратегий управления водными ресурсами / под ред. В.И. Данилова-Данильяна. М.: Научный мир, 2006. 336 с. Экология и экономика природопользования / под ред. Э. В. Гирусова. М.: Закон и право, ЮНИТИ, 1998. 455 с.
4. Ретеюм А.Ю. Управление окружающей средой по ИСО 14001. Словарь-справочник. М.: Хорион, 2006. 144 с.
5. Каплинский А.Н., Незнаев А.Б., Рекс Л.М., Руссман И.Б., Умывакин В.М., Юрченко И.Ф. Использование оптимизационных моделей имитационного типа при разработке схем развития и размещения мелиорации (на примере Белорусской ССР) // ВНИИ гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова. Рукопись деп. 30.06.1988. М. 1988. 37 с.
6. Саати Т.Л. Взаимодействия в иерархических системах // Изв. АН СССР. Сер. Техн. кибернетика. 1979. № 1. С. 68–84.
7. Миркин Б.Г. Анализ качественных признаков (Математические модели и методы). М.: Статистика, 1976. 166 с.
8. Дэвид Г. Метод парных сравнений. М.: Статистика, 1978. 144 с.
9. Савин К.Н., Хамханова Д.Н. Аттестация алгоритмов определения весовых коэффициентов показателей качества // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. (Электронный журнал) URL: [www.science-education.ru/95-4569](http://www.science-education.ru/95-4569) (дата обращения: 05.02.2015).

#### **Сведения об авторах:**

Юрченко Ирина Федоровна, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, доцент, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», 127550, Москва, ул. Большая Академическая, 44; e-mail: [irina.507@mail.ru](mailto:irina.507@mail.ru)

Носов Алексей Константинович, канд. техн. наук, генеральный директор, ОАО «Северо-Кавказский институт по проектированию водохозяйственного и мелиоративного строительства», 357500, г. Пятигорск, просп. Кирова, 78; e-mail: [analitik@skgvh.ru](mailto:analitik@skgvh.ru)