

*Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Жанымхан Курманбек*

## КИЧИНЕ СУУ ЧОГУЛТУУЧУ ДАРЫЯЛАР БАССЕЙНИНДЕГИ ЭКОЛОГИЯЛЫК ЧЕКТЕГИ ЖОЛ БЕРИЛГЕН ЖУКТӨМДҮ АНЫКТОО БКМАСЫ

*Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Жанымхан Курманбек*

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОЙ НАГРУЗКИ В ВОДОСБОРАХ БАССЕЙНОВ МАЛЫХ РЕК

*Zh.S. Mustafaev, A.T. Kozykeeva, Zhanymkhan Kurmanbek*

## TECHNIQUE FOR DETERMINATION OF ENVIRONMENTALLY LIMITLY ADMISSIBLE LOADING IN THE DIVISION OF SMALL RIVER BASIN

УДК: 552.482.2:577.4

Гидрохимиялык балансы салмактуулугунун негизинде дарыяларынын бассейндеринде жана бир жагдайлар көз карандылык, салыштырмалуу кирешелүүлүктү мүнөздөйт, суу жарым-чөгөрүлгөн өсүмдүктөр дарыя агымынын жана камтылган булгоочу заттар, математикалык модели иштелип, дарыясынын бассейнинин суу аймактарында экологиялык чектүү - чыдамкайлык жүктөмө аныктоо, дарыядан суу заттардын топтолушу, болжолдоолор кошуу менен, деңгээли туруктуу сууну пайдалануу жана экологиялык агымдарды. Эсептөөлөрү чакан дарыялардын табигый жана өнөр жай жүктөрдү аныктоо үчүн колдонулат. Көрсөтүлгөндөй, салыштырмалуу көз карандылык суу менен жарым-чөгөрүлгөн түшүмдүүлүгү өсүмдүктөр  $S(\varphi)$  өзгөрүүлөр диапозону чыгып айлана-чөйрө жагдайларда, жеткиликтүү там-турундөгү ийри болгон эң жогорку мааниси зонасында оптималдуу баалуулуктар болуп эсептелет, себеп, бул эң жогорку төмөнкү чек менен мүнөздөлгөн максималдуу-мүмкүн айлана-чөйрөнү коргоо агымдардын баалуулукта, экологиялык туруктуулукту дарыясынын бассейнинин суу аймактардагы жаратылыш системасын камсыз кылат.

**Негизги сөздөр:** дарыясынын бассейнинин суу чогултуучу аянт, айлана-чөйрөнү коргоо, түшүмдүүлүгү, гидрохимиялык балансы, жүктөм, модел.

На основе уравнения гидрохимического баланса вод речных бассейнов и однофакторной зависимости, характеризующей относительную продуктивность водной полупогруженной растительности от речного стока и содержания загрязняющих веществ, разработана математическая модель для определения экологически предельно-допустимой нагрузки в водосборах бассейна реки, включающих прогнозирование концентрации загрязняющих веществ воды в реке, уровня безвозвратного водопотребления и экологического стока. Расчеты использованы для определения природно-техногенной нагрузки в бассейнах малых рек. Показано, что относительная зависимость продуктивности водной полупогруженной растительности  $S(\varphi)$  от диапазона изменения рассматриваемых факторов среды ( $\varphi_i$ ), имеющая вид куполообразных кривых имеет максимальное значение в зоне оптимального значения рассматриваемых факторов среды ( $\varphi_{opt}$ ). Этот

максимум характеризует нижний предел максимально-возможного значения экологического стока, обеспечивающего экологическую устойчивость природной системы в водосборах речного бассейна.

**Ключевые слова:** водосбор, речной бассейн, экология, продуктивность, уравнение гидрохимического баланса, нагрузка, модель.

Based on the equation of hydrochemical balance of water in river basins and one-factor dependence characterizing the relative productivity of semi-submersible water vegetation from river flow and the content of pollutants, a mathematical model was developed to determine the environmentally acceptable maximum load in the catchments of the river basin, including predicting the concentration of water pollutants in the river irrevocable water consumption and environmental flow. Calculations are used to determine the natural ehnogennoy load in small river basins. It is shown that the relative dependence of productivity of water-containing semi-submersible vegetation  $S(\varphi)$  on the range of variation of the considered environmental factors ( $\varphi_i$ ), having the form of dome-shaped curves, has the maximum value in the zone of optimal values of the considered environmental factors ( $\varphi_{opt}$ ). This maximally characterizes the lower limit of the maximum possible value of ecological flow, ensuring the environmental sustainability of the natural system in the catchments of the river basin.

**Key words:** catchment, river basin, ecology, productivity, hydrochemical balance equation, load, model.

**Введение.** Вследствие антропогенной деятельности прогрессирующее загрязнение городскими и промышленными объектами бассейнов малых рек – представляется научной и прикладной проблемой науки экологии. Актуальность проблемы связана с тем, что русла малых рек несут техногенную нагрузку от таких основных природо-пользователей как промышленные предприятия и сельскохозяйственные производства, которые зачастую удалены и находятся в различных водосборных речных бассейнах, а также административно-территориальных единицах.

Водотоки при этом выполняют транспортную функцию и переносят Токсичные загрязняющие ве-

щества с верховьев рек, на которых они были образованы поступают по водотокам, на соседние расположенные в низовья земли, принимающие для магазинирования токсичный и загрязненный поток. Перенос загрязнений веществ техногенного характера создает экологические, экономические и нормативно-правовые проблемы, и необходимости разработки методологического обеспечения в оценках предельно-допустимой нагрузки в водосборах речных бассейнов.

**Цель исследования** - оценка допустимого уровня воздействия в водосборах бассейна малых рек и разработка математической модели, позволяющей определить экологический сток и допустимые пределы без возвратного водопотребления и загрязнения, обеспечивающие устойчивость водной экосистемы.

**Методы исследования.** На основе уравнения гидрохимического баланса веществ в водосборах речных бассейнов и относительной продуктивности растительности от речного стока и содержания загрязняющих веществ, нами получена математическая модель, характеризующая уравнение баланса веществ, относительно концентрации ( $C_p$ ) [1]:

$$C_p = \frac{g_{\sigma} \cdot C_{\sigma} \cdot \frac{g_{bon} \cdot (K_b \cdot C_{\sigma} + K_{nz} \cdot C_{\sigma})}{(A \cdot g_{\sigma} + g_{bon})} + \frac{b_{max} \cdot S(w) \cdot S(c)}{(A \cdot g_{\sigma} + g_{bon})}}{(A \cdot g_{\sigma} + g_{bon})},$$

где:  $C_{\sigma}$ -удельный вынос вещества с единицы водосборной площади;  $A$ -безразмерный показатель, характеризующий отношение естественного стока реки (норма стока) ( $Wp$ ) к объему речного стока ( $Wb$ );  $g_{\sigma}$ -показатель, учитывающий влияние загрязненности в речной воды рассматриваемым веществом,  $S(w)$ -показатель, учитывающий влияние объема воды в реке на продуктивность растительности;  $g_{\sigma}$ -модуль стока воды с водосборной площади, л/с·км<sup>2</sup>;  $g_{bon}$ -модуль водопотребности в водосборах бассейна реки;  $b_{max}$  - удельный максимальный объем веществ, поглощаемый водной растительностью из единицы объема воды, кг/м<sup>3</sup>;  $K_{\sigma}$ - коэффициент возвратных вод;  $K_{nz}$ - коэффициент подземных вод.

Функции  $S(w)$  и  $S(c)$ , характеризующие относительную продуктивность водной растительности от речного стока ( $W_i$ ) и содержания загрязняющих веществ ( $C_i$ ), представляют собой однофакторные зависимости, имеющие вид куполообразных кривых, достаточно хорошо описывающихся по формуле Шабанова В.В. [2]:

$$S(\varphi) = \left( \frac{\varphi_i}{\varphi_{opt}} \right)^{\gamma \cdot \varphi_{opt}} \cdot \left[ \frac{(1 - \varphi_i)}{(1 - \varphi_{opt})} \right]^{\gamma \cdot (1 - \varphi_{opt})},$$

где  $S(\varphi)$  - относительная продуктивность водной полупогружной растительности;  $\varphi_i$  - фактическое значение рассматриваемого фактора среды;  $\varphi_{opt}$  - оптимальное значение рассматриваемого фактора среды;  $\gamma$  - параметр саморегуляции водной полупогружной растительности.

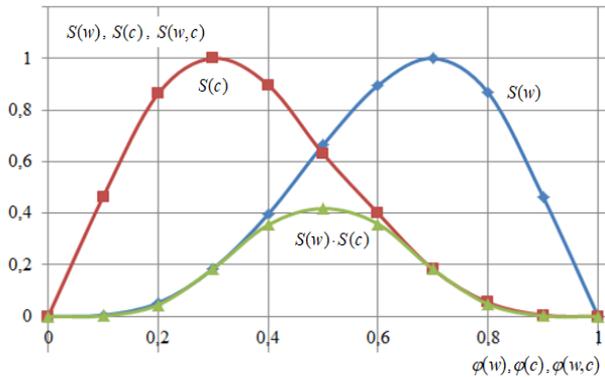
Экологические допустимые пределы воздействия на основе принципа Ле-Шателье-Брауна, который констатирует, что «внешнее воздействие, выводящее систему из равновесия, стимулирует в ней процессы, стремящиеся ослабить результаты этого воздействия» определяется математическим модулем, характеризующий уравнение баланса веществ, относительно концентрации ( $C_p$ ) [3].

**Результаты исследования.** На основе разработанной математической модели для оценки экологического допустимого предела природно-техногенного воздействия на природную среду малых рек, использована матрица планирования эксперимента для определения предельно-допустимого уровня использования водных ресурсов малой реки Каратал с учетом не только объема или расхода сброса загрязненных сточных вод городов и промышленных объектов, но и поступающих коллекторно-дренажных вод с территории орошаемых массивов.

Функция зависимости содержания загрязняющих веществ ( $S(c)$ ) и относительной продуктивности водной полупогружной растительности от речного стока ( $S(w)$ ) представлена произведением функции:

$$(S(w, c)): S(w, c) = S(w) \cdot S(c).$$

Оценка относительной продуктивности водной полупогружной растительности в водосборах речного бассейна Каратал произведена при следующих значениях:  $\gamma = 5,0$  - параметр саморегуляции водной полупогружной растительности [4];  $\varphi_{opt}^w = 0,70$  - относительное оптимальное значение допустимого предела без возвратного водозабора;  $\varphi_{opt}^c = 0,30$  - относительное оптимальное значение содержания загрязняющих веществ в водах речного бассейна;  $\varphi_i = 0-1$  - диапазон изменения рассматриваемых факторов среды (рис.1).



**Рис. 1.** Относительная продуктивность водной полупогруженной растительности  $S(\varphi)$  бассейна реки Каратал в зависимости от диапазона изменения рассматриваемых факторов среды ( $\varphi_i$ )

Как видно из рисунка 1, относительная продуктивность водной полупогруженной растительности  $S(\varphi)$  в зависимости от диапазона изменения рассматриваемых факторов среды ( $\varphi_i$ ), имеющий вид куполообразных кривых показывает, что ее максимальное значение располагается в зоне оптимального значения рассматриваемых факторов среды ( $\varphi_{opt}$ ).

Характеризует нижний предел максимально-возможного значения экологического стока, обеспечивающего экологическую устойчивость природной системы в водосборах речного бассейна, максимальное значение куполообразных кривых произведения функции ( $S(w, c)$ ), учитывающее совместное влияние объема воды в реке ( $S(w)$ ) и загрязненности речной воды определенным веществом ( $S(c)$ ) находится в пределах 0-40.

На основе использования уравнения гидрохимического баланса вещества речного стока, при известных значениях концентрации речных вод ( $C_{pm}$ ), которая формируется под влиянием природно-техногенной деятельности, и с учетом самоочищения способности водной полупогруженной растительности ( $C_{pb}$ ), уравнение баланса веществ, относительно концентрации ( $C_p$ ) имеет следующий вид:

$$C_p = C_{pm} - \frac{b_{\max} \cdot S(w) \cdot S(c)}{(A \cdot g_{\bar{\sigma}} + g_{bon})} = C_{pm} - C_b \cdot S(w) \cdot S(c),$$

где  $C_{pb}$  - показатель самоочищающей способности водной полупогруженной растительности, то есть  $C_b = b_{\max} / (A \cdot g_{\bar{\sigma}} + g_{bon})$ .

Уравнение баланса веществ, по данным анализа математических моделей относительно concentra-

ции ( $C_p$ ) показывает, что производная функции, описывающей изменение стационарного состояния системы по рассматриваемым факторам, то есть  $W_i$  и  $C_i$ , должна быть возрастающей:  $dC_p/dw > 0$ ,  $dC_p/dc > 0$  [3].

Следует отметить научную значимость и практическую ценность разработанных математических моделей, характеризующих уравнение баланса веществ, относительно концентрации ( $C_p$ ):

- функция достаточно хорошо отвечает условию нормального развития водной полупогруженной растительности, когда согласно закону Ю. Либиха [5], чтобы она потеряла биологическую устойчивость, достаточно критической ситуации по одному из рассматриваемых факторов:

- однофакторные зависимости  $S(w)$  и  $S(c)$ , определяются концентрацией  $C_{\bar{\sigma}}$ , а не  $C_p$ , так как последняя это результат действия самоочищения способности водной полупогруженной растительности ( $C_{pb}$ );

- для определения предельно-допустимого воздействия природно-техногенной системы производная функции  $C_p$  берется только по переменным параметрам состояния реки ( $W_i, C_i$ );

- предельно-допустимая концентрация речных вод определяется при фиксированном значении речного стока воды и наоборот, минимально-допустимый сток воды при фиксированном уровне загрязненности реки.

На основе этих принципиальных позиций можно определить предельно-допустимый уровень использования объема или расхода воды в речных бассейнах, то есть можно определить предельно-допустимый уровень техногенной нагрузки на экологическую систему по следующим формулам:

$$W_n = W_p \cdot S(w) \cdot S(c), \quad Q_n = Q_p \cdot S(w) \cdot S(c),$$

где  $W_n, Q_n$  - предельно-допустимый уровень использования объема или расхода стоков воды в речных бассейнах, км<sup>3</sup> или м<sup>3</sup>/с;  $W_p, Q_p$  - объем или расход воды, формирующихся в речных бассейнах, км<sup>3</sup> или м<sup>3</sup>/с.

Следовательно, на основе уравнения, характеризующего техногенную нагрузку на экологическую систему, определяется предельно-допустимый уровень использования объема или расхода воды в речных бассейнах, с расходом ( $Q_s$ ) и объемом ( $W_s$ ) обеспечивающих экологическую устойчивость природной системы речных бассейнов экологического стока:

$$W_s = W_p \cdot [1 - S(w) \cdot S(c)], \quad Q_s = Q_p \cdot [1 - S(w) \cdot S(c)].$$

Математические модели разработаны для определения экологического стока и предельно-допустимого уровня использования водных ресурсов речных бассейнов и средних годовых их расходов по их разной обеспеченности для р. Каратал за период 1932-2009 гг., что позволяют выполнить прогнозный расчет по определению экологического стока и безвозвратного водопотребления в отраслях экономики региона [6].

При построении прогнозного расчета по определению экологического стока и безвозвратного водопотребления в отраслях экономики в водосборах бассейна реки Каратал учитывались следующие положения:

- во-первых, расчетный период рассматривался в рамках прошлого (1932-1986 гг.) и настоящего (1987-2009 гг.), которые показывают изменения расхода воды в реках во временном масштабе;

- во-вторых, для оценки изменения расхода воды в реках в пространственном масштабе использованы информационно-аналитические материалы гидрологических постов – с. Каратал, расположенного при выходе предгорья Жетсуского Алатау и Найменсук, на равнинной территории бассейна оз. Балхаш, которые позволяют разработать систему управления и регулирования водного ресурса, обеспечивающих рациональное и эффективное использование в развитии отраслей экономики в регионах.

#### Выводы

1. На основе уравнения гидрохимического баланса воды речных бассейнов и однофакторных зависимостей, характеризующих относительную продуктивность водной полупогружной растительности от речного стока и содержания загрязняющих

веществ, разработана математическая модель для определения экологически предельно-допустимой нагрузки в водосборах бассейна реки.

2. Созданная математическая модель позволяет прогнозировать концентрации загрязняющих веществ в воде в реке, предельно-допустимый уровень безвозвратного водопотребления и экологического стока.

3. Данная модель реализована для определения природно-техногенной нагрузки в бассейне р. Каратал, для планирования, управления и регулирования водных ресурсов речных бассейнов и обеспечения устойчивости природной системы региона.

#### Литература:

1. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Жанымхан К. Методика определения экологически предельно-допустимого воздействия на малые реки // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни» / Водные ресурсы Центральной Азии и их использование- Алматы, 2016. – кн.2. – С.187-294.
2. Шабанов В.В. Влагообеспеченность яровой пшеницы и ее расчет.- Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 142 с.
3. Тарко А.М. Устойчивость биосферных процессов и принцип Ле-Шателье // Доклад АН, 1995.-том 343.-№3.- С. 393-395.
4. Маркин В.Н. Определение экологически допустимого воздействия на малые реки // Мелиорация и водное хозяйство, 2005.-№4.-С. 8-11.
5. Попов В.А. Математическое выражение закона лимитирующего фактора и его приложение к задачам мелиоративного земледелия // мелиорация и водное хозяйство, 1997.-№2.- С. 30-34.
6. Мустафаев К.Ж., Козыкеева А.Т., Жанымхан К. Особенности формирования гидрогеохимического режима реки Каратал // Гидрометеорология и экология. – Алматы, 2016. - №2. – С. 160-169.

Рецензент: д.т.н., профессор Рау А.Г.