

водными ресурсами Арало-Каспийского региона. – М.: Наука, 2003. – 400 с.

6. Исмаилов Г. Х., Прошляков И. В., Раткович Л. Д. Методология управления большими водохозяйственными системами на примере Волжско-Камского каскада водохранилищ // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 4. – С. 17–22.

7. Раткович Л. Д. Методология обобщающих водохозяйственных расчетов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2007. – № 6. – С. 32–34.

8. Раткович Д. Я. Моделирование взаимозависимых гидрологических рядов (на примерах притока к Аральскому и Азовскому морям) // Водные ресурсы. – 1977. – № 1. – С. 5–15.

Материал поступил в редакцию 03.05.11.

Раткович Лев Данилович, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Комплексное использование водных ресурсов»

Тел. 8-903-615-80-59

E-mail: levkivr@mail.ru

УДК 502/504:556.18

В. Н. МАРКИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

ЭКОЛОГО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РЕКИ ТУРЫ

Дана оценка изменению качества воды и экологическому состоянию реки Туры. Рассмотрено ее влияние на качество воды в реке Тобол. Эти реки играют большую роль в водоснабжении Урала. Неудовлетворительное качество воды – одна из проблем Уральского региона. Расчеты проведены с помощью метода соответствия гидрохимических, гидробиологических и гидрологических параметров водной среды, который позволяет при минимальном количестве исходных данных делать оценку с учетом и без учета водоохраных мероприятий.

Прогноз, оценка качества воды, экологическое состояние водного объекта.

There is given an assessment of water quality and ecological condition of the river Tura. Its influence on the water quality in the river Tobol is considered. The given rivers play an important role in water supply of the Urals. The unsatisfactory water quality is one of the problems of the Ural region. Calculations were carried out according to the correspondence method of hydrochemical, hydrobiological and hydrological parameters of water environment allowing making assessments under a minimal quantity of initial data with or without taking into consideration water protection measures.

Forecast, water quality assessment, ecological state of water object.

Река Тура протекает в Уральском регионе и является левым притоком Тобола. Длина Туры составляет 1030 км, площадь бассейна – 80,4 тыс. км².

Речная вода используется для питьевого и технического водоснабжения. В настоящее время ее воды загрязнены. Характерными загрязнителями являются нефтепродукты, фенолы, медь, железо. Основные объемы загрязняющих воду веществ поступают со сточными водами

городов и расположенных в них промышленных и автомобильных предприятий.

В данной работе дается оценка изменения качества воды и экологического состояния реки Туры. Оценено ее влияние на качество воды в реке Тобол. Анализ проведен с учетом и без учета водоохраных мероприятий. По прогнозным расчетам предполагается, что антропогенная нагрузка на реку соответствует современному уровню.

Оценка качества воды реки Туры проведена для трех створов (рис. 1). Методика расчетов сводится к определению качества воды на современный период (по данным за 2001–2005 годы) с помощью комплексных показателей: коэффициента предельной загрязненности $k_{пз}$ (модификация индекса загрязнения воды ИЗВ) и индекса Шеннона H [1].



Рис.1. Схема бассейна реки Туры и расположение расчетных створов 1...5

Комплексный показатель предельной загрязненности представляет собой усредненную кратность превышения нормативных значений показателей качества воды. Он оценивается по концентрациям C_i загрязняющих веществ N или показателей качества воды ($i = 1...N$), наиболее характерных для всех створов:

$$k_{пз} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{ПДК_i} - 1,$$

где ПДК_{*i*} – предельно допустимая концентрация *i*-го загрязняющего вещества или нормативное значение учитываемого показателя качества воды.

Индекс Шеннона определен на основе его связи с коэффициентом предельной загрязненности (табл.1).

Связь между $k_{пз}$ и H довольно тесная и описывается регрессионным уравнением (коэффициент регрессии $r = -0,85$): $H = 3,06 \exp(-0,23(k_{пз} + 2))$, $H \geq 1,1$.

Расчеты комплексных показателей проведены для лет разной обеспеченности: $P = 25\%$ (многоводный год), 50% (средний по водности год), 75% (маловодный), 95% (остро маловодный).

Водоохранные мероприятия учитываются с помощью их эффективности Θ , которая принималась равной: $\Theta = 0\%$ (без учета проведения водоохранных мероприятий); $\Theta = 20\%$, 40% , 60% и 80% . Это позволяет определить требуемую эффективность мероприятий для достижения приемлемого для практики качества воды в годы разной водности. Приемлемым качеством воды считается уровень, соответствующий классу «умеренно загрязненная». Это естественный фон: $k_{пз}^{фон} = 0...1$. Показатель предельной загрязненности, учитывающий водоохранные мероприятия $k_{пз}^{БОМ}$, пересчитывается по следующей формуле:

$$k_{пз}^{БОМ} = (k_{пз} + 1)(1 - \Theta) - 1.$$

Оценка качества воды и состояния водного объекта в расчетных створах.

Створ 1. В верхнем течении реки Туры наиболее опасными загрязнителями являются нефтепродукты, медь, фенолы, железо, БПК и аммонийный азот (табл.1,

Таблица 1

Соответствие класса качества воды и характеристик экологического состояния водного объекта [2, 3]

Оценочный показатель	Класс качества воды					
	Очень чистая	Чистая	Умеренно загрязненная	Загрязненная	Грязная	Очень грязная
$k_{пз}$	< -0,8	-0,8...0	0...1	1...3	3...5	> 5
H	3,1...2,3	2,3...1,9	1,9...1,52	1,52...1,25		1,25...1
Трофность объекта	Олиготрофный	Мезотрофный		Эвтрофный		Гипертрофный

2). В настоящее время их концентрации превышают ПДК в 1,27–19 раз.

Качество воды оценивается на уровне «загрязненная» в многоводные годы с обеспеченностью менее 35 % (рис. 2а). В

годы с обеспеченностью 35...68 % качество воды соответствует классу «грязная» (вероятность данных условий 33 %). В годы с обеспеченностью выше 68 % вода «очень грязная» (вероятность 32 %) (рис. 2б).

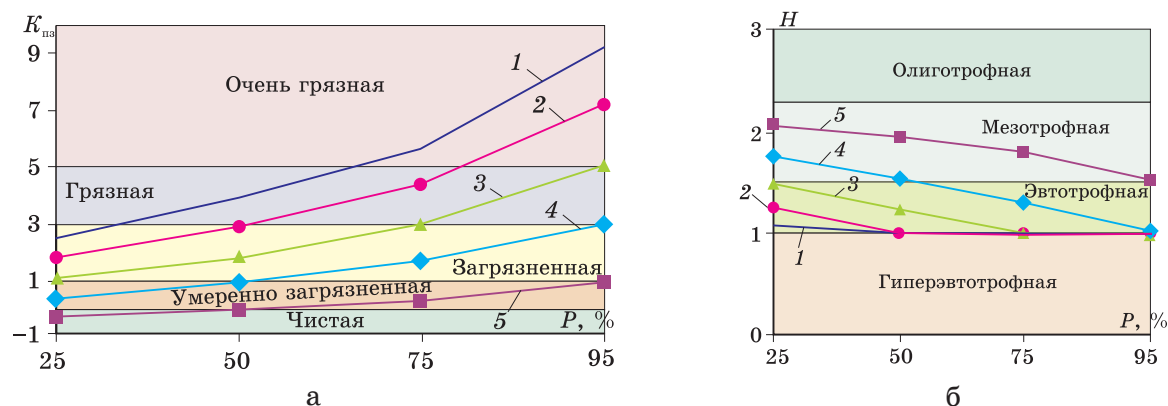


Рис. 2. Створ 1. Изменение качества воды (а) и индекса Шеннона (б) в годы разной обеспеченности с учетом эффективности водоохранных мероприятий: 1 – Э = 0%; 2 – Э = 20%; 3 – Э = 40%; 4 – Э = 60%; 5 – Э = 80%

Проведение водоохранных мероприятий с эффективностью 40 % позволяет выйти на уровень «загрязненная» в годы основной расчетной обеспеченности $P=75\%$ и проверочной $P = 95\%$ (по условиям водообеспечения). Однако приемлемый уровень качества, соответствующий классу «умеренно загрязненная», достигается только при проведении водоохранных мероприятий с эффективностью Э = 80 %.

Трофический статус водного объекта соответствует гиперэвтрофной стадии раз-

вития. Водоохранные мероприятия эффективностью 60 % позволяют выйти в средний по водности год на мезотрофный уровень. В годы более высокой обеспеченности складываются условия гиперэвтрофного уровня. Водоохранные мероприятия с эффективностью Э = 80 % позволяют создать условия, соответствующие эвтрофной стадии.

Створ 2. В среднем течении реки Туры вода загрязнена нефтепродуктами, фенолами, медью, железом, аммонийным

Таблица 2

Концентрации С веществ, их нормативные значения ПДК и показатели качества воды $k_{пз}$ для расчетных створов реки Туры

Показатель	Концентрация в учетных створах, мг/л			Отношение $C_i/ПДК_i$ по створам			ПДК, мг/л
	1	2	3	1	2	3	
O ₂	7,5	7,4	8,15	0,63	0,62	0,68	12
БПК ₅	3,8	2,7	3,46	1,27	0,90	1,15	3
NH ₄	1,0	0,58	0,5	2,00	1,16	1,00	0,5
NO ₂	0,03	0,007	0,014	0,38	0,09	0,18	0,08
NO ₃	0,15	0,54	0,32	0,02	0,06	0,04	9,1
Fe	1,3	0,81	1,09	4,33	2,70	3,63	0,3
Cu	0,019	0,019	0,0114	19,00	19,00	11,40	0,001
Zn	0,005	0,0205	0,0214	0,50	2,05	2,14	0,01
Фенол	0,06	0,004	0,003	6,00	4,00	3,00	0,001
Нефть	0,7	0,06	0,04	14,00	1,20	0,80	0,05
СПАВ	0,03	–	0,02	0,06	–	0,04	0,5
Mn	–	0,12	0,2042	–	12,00	20,42	0,01
Ni	–	–	0,0045	–	–	0,45	0,01
$k_{пз}$ (Э = 0 %)				3,38	2,52	2,45	–

азотом, марганцем и цинком. Превышения ПДК по данным загрязнителям изменяется в диапазоне 1,2...19 (см. табл. 2).

В годы с обеспеченностью до 65 % класс качества воды соответствует уровню «загрязненная» (рис. 3а). В маловодные годы качество воды держится на уровне «грязная», а в острымаловодные годы – на уровне «очень грязная». Проведение водоохраных мероприятий с эффективностью $\Theta = 60\%$ позволяет улучшить качество воды в год основной расчетной обеспеченности до уровня «умеренно загрязненная».

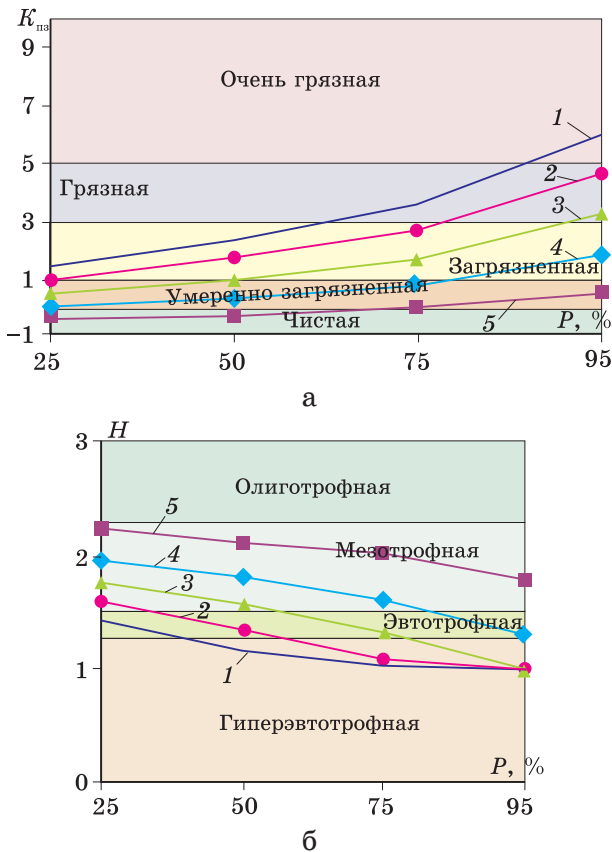


Рис. 3. Изменение качества воды (а) и индекса Шеннона (б) в годы разной обеспеченности с учетом эффективности водоохраных мероприятий. Створ 2: 1 – $\Theta = 0\%$; 2 – $\Theta = 20\%$; 3 – $\Theta = 40\%$; 4 – $\Theta = 60\%$; 5 – $\Theta = 80\%$

Экологическое состояние водного объекта оценивается как гиперэвтрофное (рис. 3б). Водоохраные мероприятия эффективностью 40 % в среднемноголетнем разрезе позволяют выйти на уровень эвтрофной стадии. В годы с обеспеченностью $P < 50\%$ складываются условия мезотрофного уровня, а в годы с обеспеченностью $P > 75\%$ условия соответствуют гиперэвтрофной стадии.

Створ 3. В средние по водности годы качество воды в низовьях реки оценивается на уровне «загрязненной» (см. табл. 2). Вода загрязнена следующими веществами: БПК₅, железо, медь, цинк, магний, фенолы. Проведение водоохраных мероприятий с эффективностью 40 % позволяет улучшить качество воды до уровня «загрязненная» в многоводные и средние по водности и маловодные годы (рис. 4а). В острымаловодные годы качество воды остается на уровне «грязная». Достичь приемлемого качества воды во всего годы можно путем проведения водоохраных мероприятий с эффективностью 60 %. В этом случае вероятность условий «умеренно загрязненного» класса составляет 75 %, а «загрязненного» – 25 %.

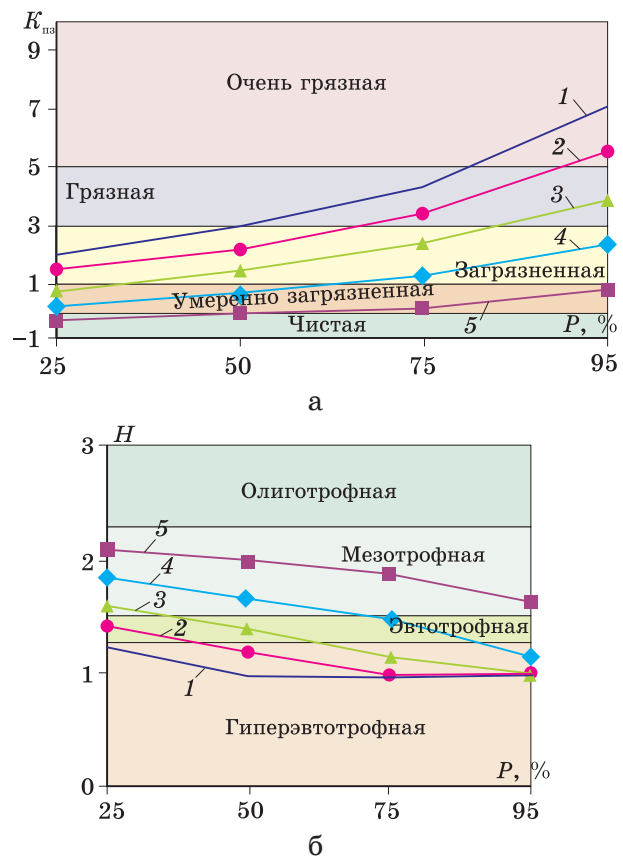


Рис. 4. Изменение качества воды (а) и индекса Шеннона (б) в годы разной обеспеченности с учетом эффективности водоохраных мероприятий. Створ 3: 1 – $\Theta = 0\%$; 2 – $\Theta = 20\%$; 3 – $\Theta = 40\%$; 4 – $\Theta = 60\%$; 5 – $\Theta = 80\%$

В нижнем течении трофический статус реки Туры соответствует гиперэвтрофному уровню (рис. 4б). Условия эвтрофного уровня для средних по водности лет можно достичь при проведении

водоохранных мероприятий с эффективностью не менее 40 %. Однако в маловодные и остромаловодные годы сохраняются условия гиперэвтрофной стадии. Проведение водоохранных мероприятий с эффективностью 60 % способствует созданию условий мезотрофного уровня в многоводные и средние по водности годы. Однако в остромаловодные годы сохраняются условия гиперэвтрофной стадии.

Оценка влияния Туры на качество воды в реке Тобол. Оценка влияния стока Туры на качество воды в реке Тобол сделана с помощью гидрохимического и водного балансов. Балансы составлены для участка реки Тобол, расположенного между створами 4 и 5 (см. рис. 1). Годы разной обеспеченности – 25, 50, 75 и 95 %. Балансовые уравнения имеют следующий вид: $k_{пз}^5 W^5 = k_{пз}^4 W^4 + k_{пз.пр} W_{пр}$;

$$W^5 = W^4 + W_{пр},$$

где $k_{пз.пр}$ – коэффициент предельной загрязненности воды в реке Туре; $k_{пз}^4, k_{пз}^5$ – коэффициенты предельной загрязненности воды реки Тобол, соответственно выше и ниже места впадения Туры; W^4, W^5 – объемы стока воды в реке Тобол, соответственно выше и ниже места впадения Туры; $W_{пр}$ – объем стока Туры.

Расчеты показывают, что река Тура оказывает некоторое положительное влияние на снижение загрязненности реки Тобол (табл. 3). Однако данное влияние незначительно (9...20 %). Снижение загрязненности происходит в пределах сформировавшегося класса качества воды в годы разной водности.

Проведение водоохранных мероприятий позволит повысить ее положительное влияние в разные по водности годы до 25..73 % (табл. 4).

Таблица 3

Оценка влияния загрязненности реки Туры на реку Тобол

P, %	W млн м ³			k _{пз}			
	Створ 4	Тура	Створ 5	Створ 4	Тура	Створ 5	Степень влияния, %
25	4920	7350	12270	2,09	1,79	1,91	9
50	3180	5360	8540	3,78	2,81	3,17	16
75	2090	3780	5870	6,27	4,37	5,05	20
95	1350	2160	3510	10,26	7,05	8,28	19

Таблица 4

Оценка влияния реки Туры на качество воды в реке Тобол в зависимости от эффективности водоохранных мероприятий в бассейне реки Туры

P, %	Эффективность водоохранных мероприятий в бассейне реки Туры, %			
	20	40	60	80
25	25	41	57	73
50	29	41	54	67
75	31	42	53	64
95	29	39	48	58

Выводы

Река Тура не отвечает нормативам качества по следующему ряду загрязняющих веществ: железо, медь, фенолы, нефтепродукты, марганец.

Класс качества воды оценивается на уровне «грязная» в верхнем течении реки и «загрязненная» в среднем и нижнем течении. Это говорит о постоянности поступления загрязненных стоков и слабом протекании процессов самоочищения воды. Последнее подтверждается тем, что экологическое состояние реки оценивается на уровне «гиперэвтрофной» стадии

развития.

В связи с сопоставимой загрязненностью обеих рек влияние Туры на качество воды в реке Тобол в настоящее время незначительно (≤ 20 %).

Проведение водоохранных мероприятий в бассейне реки Туры позволит повысить ее положительное влияние до 25..73 %.

1. Шабанов В. В., Маркин В. Н.

Эколого-водохозяйственная оценка водных объектов: монография. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2009. – 154 с.

2. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: монография. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.

3. Дмитриев В. В. Оценка экологического состояния водных объектов суши: Экология. Безопасность. Жизнь. Экологи-

ческий опыт гражданских, общественных инициатив. – Гатчина, 2000. – Ч. 2. Уязвимость водной экосистемы – С. 284–296.

Материал поступил в редакцию 21.04.11.

Маркин Вячеслав Николаевич, кандидат технических наук, доцент

Тел. 8 (499) 153-90-28

E-mail: mvnarkin@mail.ru

УДК 502/504:556.132.6

Т. И. БЕГЛЯКОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

ИСПАРЕНИЕ С ПОВЕРХНОСТИ СУШИ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

Рассматривается определение суммарного испарения с поверхности суши и изменения бассейновых влагозапасов для частных водосборов бассейна Верхней Волги. При этом в качестве ретроспективного периода используются данные о стоке и атмосферных осадках за период 1914/1915–2000/2001 годов.

Испарение, бассейновые влагозапасы, водный баланс, бассейн Верхней Волги.

There is considered a determination of the total evaporation from the dry land surface and change of the basin moisture stocks for private water catchments of the upper Volga basin. And as a retrospective period there are used the flow and precipitation data for the period of 1914/1915–2000/2001 years.

Evaporation, basin moisture stocks, water balance, the upper Volga River basin.

Суть проблемы. Одним из основных средств разрешения теоретических и практических гидрологических проблем являются воднобалансовые исследования, которые служат основой количественной оценки водных ресурсов и их изменений под влиянием деятельности человека.

Анализ исходных данных, используемых для расчета отдельных элементов водного баланса, и увязка этих элементов между собой служат определением недостатков в размещении наблюдательных станций и выявлении систематических ошибок измерений отдельных составляющих водного баланса. Изучение водного баланса дает возможность косвенным путем вычислить по разности известных значений элементов баланса неизвестный элемент, например, испарение с речного

бассейна по разности осадков и стока [1].

Проблеме изучения взаимосвязи элементов водного баланса (атмосферных осадков, речного стока и испарения) в гидрологии уделяется повышенное внимание. Так, к концу XX века в исследованиях проявилась тенденция перехода от изучения водного баланса в его простейшей форме в виде традиционных трех- и четырехчленных уравнений к изучению водного баланса отдельных звеньев единого гидрологического цикла в системе «атмосфера – земная поверхность – зона аэрации – грунтовые воды – русла рек» с учетом их взаимосвязи и разработка моделей формирования речного стока. В немалой степени этому способствовали экспериментальные исследования водного баланса, проведенные в 60–70-х годах