

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДОСБОР БАССЕЙНА РЕКИ ТОБЫЛ ОТ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ С МАТЕМАТИЧЕСКИМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Ж.С. Мустафаев^{1*} *д.т.н., профессор*, А.Т. Козыкеева² *д.т.н., доцент*, Б.Е. Тастемирова² *PhD*,
Л.М. Рыскулбекова² *PhD*

¹АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан

E-mail: z-mustafa@rambler.ru

На основе системного анализа структуры и динамики использования водных ресурсов в водосборе бассейна реки Тобыл, изучена динамика формирования геоэкологических условий водопользования в отраслях экономики в условиях Костанайской области Республики Казахстан. Определена нагрузка возвратными водами и загрязняющими веществами, которые показали, что характеризуются высокой катастрофической нагрузкой, требующих регулирования природной и антропогенной деятельностью для обеспечения в перспективе устойчивого развития региона. Разработанная укрупненная схема водопользования в водосборе бассейна реки Тобыл (казахстанская часть), позволяющая формирование математических, физических и химических признаков уравнения водохозяйственного и гидрохимического балансов, позволила получить математическую модель качества воды и предельно-допустимого объема сброса возвратных вод речных бассейнов, которая обеспечивает соблюдение санитарно-эпидемиологического норматива и позволит сохранить экологическое состояние водных объектов и планировать водоохранные мероприятия для формирования желаемого уровня качества воды в реке.

Ключевые слова: бассейн реки, водосбор, нагрузка, схема, уравнение, баланс, модель, качество воды, возвратные воды, водопользование.

Поступила: 18.08.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-114-3-100-113

ВВЕДЕНИЕ

Водные ресурсы речных бассейнов, являясь одним из наиболее важных компонентов природной среды, являются средой обитания человека и одновременно служит основным потенциалом осуществления его хозяйственной деятельности. Вода как необходимый составной элемент ряда технологических процессов природно-производственного комплекса, и естественный ресурс – жилищно-коммунального хозяйства имеет первостепенное значение для функционирования практически всех отраслей экономики, а также удовлетворения бытовых и культурных потребностей населения. Природная возобновляемость водных ресурсов и, в определенных пределах, их способность к самоочищению, обусловили экстенсивный, расточительный характер использования воды на протяжении всей истории человеческого

развития. В результате экологическое состояние многих водных объектов, в особенности, малых рек, ухудшилось, а качество воды перестало удовлетворять санитарно-эпидемиологическим требованиям. В связи с этим, для формирования геоэкологической деятельности, для улучшения водохозяйственной обстановки на водосборе речных бассейнах, одной из важнейших задач научного изучения на современном этапе использования водных ресурсов в отраслях экономики становится оценка совокупной антропогенной нагрузки с идентификацией основных источников загрязнения.

Одним из фундаментальных направлений по оценке антропогенной нагрузки речных бассейнов являются направления, развиваемые в работах:

– М. Е. Вершинской, В.В. Шабанова, В.Н. Маркина (2016), для эколого-водохозяйственной оценки водных систем,

включающих гидрологические и гидро-химические процессы использовали Комплексную схему использования водных ресурсов речных бассейнов;

– Л.Н. Бимагамбетовой, А.К. Имангалиевой (2017), где в результате комплексной оценки составлен блок-схема распределения массы загрязняющих веществ бассейна реки Тобыл по схеме Российской Федерации-Республики Казахстан-Российской Федерации, для оценки трансграничного загрязнения водных объектов;

– С. С. Ломакина (2019), где разработали рекомендации в области организации геоэкологического мониторинга: теоретическую базу и методику для дальнейшего изучения территории с позиции использования ее в хозяйственном процессе;

– С. В. Ясинского и др. (2020), для изучения прямой антропогенной нагрузки на водосборе речных бассейнов использован ландшафтно-гидрологический метод, созданный в Институте географии Академии наук Российской Федерации;

– В. И. Данилова-Данильяна и др. (2020), для оценки особенностей формирования диффузного загрязнения водных объектов выявлены научно-методические, правовые и организационные проблемы регулирования их с учетом характера поступления загрязняющих веществ в природную среду и сложностью связей между антропогенным воздействием на водосбор и откликом водного объекта (с изменением качества воды и экологического состояния) на такое воздействие;

– Н. В. Стоящевой (2020), где выполнен обзор методических подходов к оценке антропогенной нагрузки на водные объекты, приводящей к изменению качества вод связанным объемом сбрасываемых загрязненных сточных вод.

Таким образом, системные исследования, направленные на выявление антропогенных изменений, а также последствий этих изменений, влияющих на экологическое состояние среды показали, что прикладная и математическая модели оценки антропогенных нагрузок носят аналитический характер, учитывающих природные средообразующие и антропогенные факторы, территориальную организацию водопользования, а также схемы комплексного

использования водных ресурсов речных бассейнов, включающих утилизацию возвратных вод.

Цель исследований – на основе всесторонней оценки геоэкологических условий формирования и использования водных ресурсов в водосборах бассейна реки Тобыл разработать на основе анализа качества поверхностных вод методы определения предельно-допустимого объема сброса возвратных вод.

Объект исследований – Река Тобыл является одной из главных водных артерий Северного Казахстана. Зона формирования стока р. Тобыл расположена на восточных отрогах Южного Урала и Тургайской столовой страны. Река Тобыл образуется слиянием реки Бозбие и Кокпектысай и впадает в реку Ертыс с левого берега у города Тобольск. Водосборный бассейн Тобыл составляет 395 тыс. км², из них часть ее водосбора, площадью 121 тыс. км², расположена в пределах Костанайской области, а общая длина реки 1591 км, из них протяженностью 682 км представляет верхнее течение реки (Бурлибаев М.Ж. и др., 2014).

Река Тобыл берет начало в Оренбургской области, далее с запада в него вливается приток Желкуар, формирующийся на территории Челябинской области. Следующим крупным притоком являются реки Аят и Уй, формирующихся на территории Челябинской области, а низовья - принадлежат Казахстану (рисунок 1).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование структуры и динамики водопользования в водосборах бассейна реки Тобыл с точки зрения бассейнового подхода предполагает разностороннее изучение природных условий формирования водных ресурсов в совокупности с анализом социально-экономической ситуации в пределах рассматриваемого речного бассейна. В ходе изучения социально-экономической организации водопользования устанавливаются приоритетные цели использования водных ресурсов, определяющие в последующем круг существующих водохозяйственных проблем и мероприятий по рационализации их использования. Одним из важнейших этапов исследования является оценка интенсивности

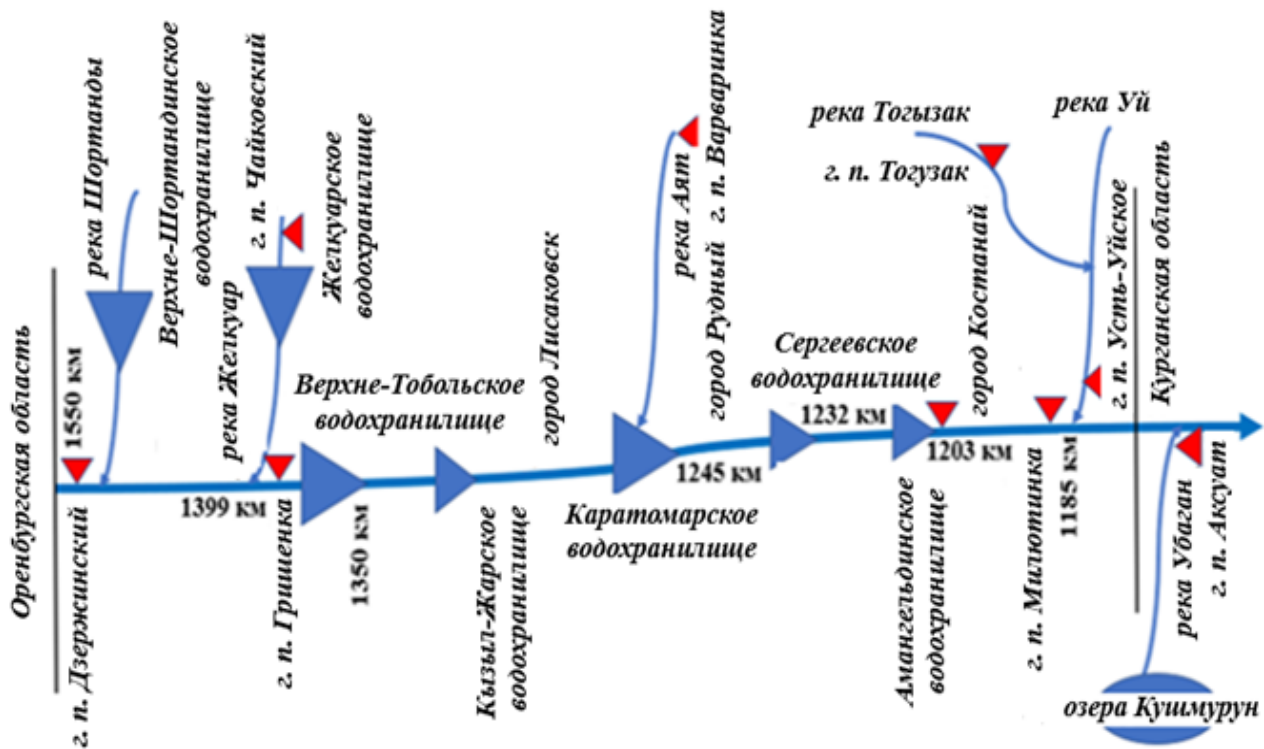


Рис.1. Схема водохозяйственных участков по бассейну реки Тобыл

антропогенной нагрузки с выделением и идентификацией основных источников загрязнения водосбора бассейна реки Тобыл для обеспечения экологической устойчивости природной системы и охраны окружающей среды.

В водохозяйственной практике для оценки антропогенной нагрузки на водосборах речных бассейнов, приводящей к изменению качества вод, применяют показатели нагрузки сточными водами и загрязняющими веществами.

Нагрузка сточными водами водосбора речных бассейнов определяется либо как отношение общего объема сточных вод к объему среднегодового стока реки по следующей формуле (Л.М. Корытный, Л.А. Безруков, 1990; Стоящева Н.В., 2018; А.В. Селезнева, 2003; А.А. Королев, Г.С. Розенберг, Д.Б. Гелашвили и другие, 2007):

$$A=100 \times q_i / Q_i, \quad (1)$$

и либо как обратное соотношение, характеризующих кратность разбавления сточных вод (Л.М. Корытный, Л.А. Безруков,

1990; М.С. Орлов, Е.А. Абрамова, В.А. Щерба, 2014; А.П. Голиков, 1982; М.П. Ратанова, 1990; Типология промышленных узлов..., 1990; Л.А. Безруков, Ю.А. Мисюркеев, 1995; Т.С. Бибикина, 2011)

$$N=100 \times Q_i / q_i, \quad (2)$$

где A – нагрузка сточными водами (%); N – кратность разбавления сточными водами; q_i – объем сточных вод, сбрасываемых в водоток, км³/год; Q_i – среднегодовой объем стока реки, км³/год.

Помимо нагрузки сточными водами существует показатель нагрузки содержащимися в них загрязняющими веществами (m , усл. тонна/км³) с учетом их условной массы, который определяется как отношение условной массы всех загрязняющих веществ в составе сточных вод (M , усл. тонна) к водному стоку реки (Q_i , км³/год) (А.В. Селезнева, 2003):

$$m=M/Q_i, \quad (3)$$

При этом, следует отметить, что формула 1, рекомендованная для определения нагрузки сточных вод не учитывает водозабор, обеспечивающий потребности отраслей экономики. Влияние водозабора на определение нагрузки сточных вод оценивается величиной параметра $A_{\text{вв}}$ в соответствие с формулой, связывающей объем сточных вод, сбрасываемых в водный объект ($W_{\text{свбр}}$), со среднегодовым стоком реки в данном створе с учетом объема водозабора $W_{\text{нрс}} - W_{\text{овз}}$:

$$A_{\text{вв}} = 100 \times W_{\text{свбр}} / (W_{\text{нрс}} - W_{\text{овз}}); \quad (4)$$

$$N_{\text{вв}} = (W_{\text{нрс}} - W_{\text{овз}}) / W_{\text{свбр}}; \quad (5)$$

$$m_{\text{вв}} = M / (W_{\text{нрс}} - W_{\text{овз}}), \quad (6)$$

где $W_{\text{нрс}}$ - объем стока реки в начале расчетного створа; $W_{\text{овз}}$ - объем водозабора с речных бассейнов для отраслей экономики; $A_{\text{вв}}$ - нагрузка возвратными водами (%); $N_{\text{вв}}$ - кратность разбавления сточными водами; $m_{\text{вв}}$ - уровень условной нагрузки загрязняющими веществами возвратных вод.

Для классификации водосбора речных бассейнов по уровню условной нагрузки загрязняющими веществами возвратных вод можно применить балльную оценку условной массы загрязняющих веществ (табл. 1), предложенную В.А. Скорняковым (1999).

Таблица 1

Балльная оценка условной массы загрязняющих веществ (В.А. Скорняков, 1999)

Уровень нагрузки, усл. тонна/км ³	<0,01	0,01...0,1	0,2...0,5	0,5...1,0	1,0...10,0
Оценочный балл	1	2	3	4	5
Уровень нагрузки, усл. тонна/км ³	11...50	50...100	100...500	500...1000	>1000
Оценочный балл	6	7	8	9	10

На основе количественной классификации условной массы загрязняющих веществ в составе возвратных вод сбрасываемых в водосборы речных бассейнов, разработана качественная классификация балльной системы, характеризующая уровень нагрузки загрязняющих веществ:

- < 0,01 (1) – нагрузки нет;
- 0,01...0,1 (2) – следы нагрузки наблюдаются;
- 0,2...0,5 (3) – очень низкая нагрузка;
- 0,5...1,0 (4) – низкая нагрузка;
- 1,0...10,0 (5) – средняя нагрузка;
- 11,0...50,0 (6) – значение нагрузки выше среднего;
- 50,0...100,0 (7) – высокая нагрузка;
- 100,0...500,0 (8) – очень высокая нагрузка;
- 500,0...1000,0 (9) – катастрофическая нагрузка;
- > 1000 (10) – очень катастрофическая нагрузка.

Методической основой исследований стали приемы эвристического анализа формирования уравнения водохозяйственного баланса водосбора речных бассейнов и структурного моделирования водопользования для формирования системы уравнения для расчета изменения загрязненности поверхностной речной воды, базирующихся совместное

применение физико-химических и биологических методов оценки отдельных компонентов водной экосистемы (Zh. S. Mustafayev, 2022; Ж.С. Мустафаев и др., 2022; Zh. S. Mustafayev et al., 2023; Ж. С. Мустафаев, Б. Т. Кенжалиева, Г. Т. Далдабаева, 2024).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе информационно-аналитических материалов отчета о деятельности РГУ «Тобол - Торгайская бассейновая инспекция по регулированию использования и охране водных ресурсов» Комитета по водным ресурсам Министерства водных ресурсов и ирригации Республики Казахстан (Отчет..., 2005-2020), включающих водные ресурсы речных бассейнов, объем водопотребления в отраслях экономики, сброс сточных, шахтно-рудничных и коллекторно-дренажных вод речных бассейнов, рельеф местности, поля фильтрации и возвратных вод с загрязняющими веществами, охватывающих 1996...2020 годы, определена динамика водопользования в водосборах бассейна реки Тобыл и на основе их определены нагрузки возвратными водами, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2

Динамика водопользования в водосборах бассейна реки Тобыл и нагрузки возвратными водами

Годы	Объем водных ресурсов, млн м ³	Объем водопотребления, млн м ³	Объем возвратных вод, млн м ³				Нагрузка возвратными водами, %
			речных бассейнов	рельеф местности	поля фильтрации	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8
1996	159,90	219,93	15,30	-	95,18	110,48	9,57
1997	74,91	176,53	13,19	-	80,00	93,19	17,60
1998	440,79	132,59	12,11	-	75,12	87,23	2,74
1999	125,86	108,79	11,83	-	82,38	94,21	9,40
2000	949,56	107,34	9,01	-	75,68	84,69	0,94
2001	301,64	93,19	8,65	-	77,13	85,79	2,87
2002	858,53	88,14	15,11	-	72,90	88,01	1,75
2003	142,18	90,66	13,31	-	67,30	80,61	9,36
2004	482,56	97,32	18,03	-	69,34	87,37	3,74
2005	977,74	81,20	19,81	1,24	57,59	78,64	2,03
2006	164,64	90,05	13,27	1,95	74,92	90,57	8,06
2007	372,17	82,83	30,52	0,35	81,17	112,04	8,20
2008	318,55	87,03	33,85	0,32	73,11	107,28	10,63
2009	192,08	84,61	29,64	0,21	57,00	86,85	15,43
2010	141,30	83,31	53,49	0,26	54,28	108,03	37,86
2011	204,38	79,06	38,71	0,25	57,10	95,06	18,94
2012	272,19	81,66	24,27	0,59	54,31	79,17	8,92
2013	419,48	88,78	19,34	0,16	21,23	40,73	4,61
2014	441,56	93,79	16,30	0,39	41,35	58,04	3,69
2015	259,89	86,26	21,54	0,20	34,10	55,84	8,29
2016	577,20	84,74	22,20	74,9	49,76	146,86	3,85
2017	397,00	87,80	35,89	14,00	39,87	89,76	9,04
2018	226,10	78,89	35,03	13,63	35,86	84,52	15,49
2019	231,20	76,43	11,88	0,16	40,68	52,72	5,14
2020	312,21	81,54	23,59	0,13	36,58	60,30	7,56

Анализ динамики объема водных ресурсов реки Тобыл на границе Российской Федерации и Республики Казахстан показал, что в период исследования изменяется от 74,91 до 949,56 млн м³, которые характеризует их значительную вариабельность по годам. При этом объем водопотребления уменьшается от 219,93 до 71,54 млн м³, а объем возвратных вод изменяется в пределах от 78,64 до 112,04 млн м³ и последовательно увеличивается объем возвратных вод сбрасываемых речных бассейнов от 15,30 до 53,49 млн м³, что приводит к увеличению нагрузка возвратными водами на

территориях водосбора речных бассейнов.

Для анализа химического состава сточных вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты в пределах Костанайской области использованы данные Костанайского филиала ГУ «Тобол-Торгайского Департамента экологии» (Информационный бюллетень..., 2005-2020) и «Костанайского областного центра санитарной эпидемиологической экспертизы» (Национально экологический бюллетень..., 2005-2020) и на основе их определены условные нагрузки загрязняющими веществами (табл.3).

Таблица 3

Средний объем переноса загрязняющих веществ возвратными водами в водосборах бассейна реки Тобыл

Показатели	Средний объем переноса загрязняющих веществ, тонна год			
	2005	2010	2015	2020
1	2	3	4	5
Взвешенные вещества	804,48	582,22	470,00	554,20
Хлориды (<i>Cl</i>)	10459,68	200,00	21673,00	17450,10
Сульфаты (<i>SO₄</i>)	4100,67	110,0	14361,80	11423,0
Нефтепродукты	0,19	0,04	0,01	0,03
Азот аммонийный (<i>NH₄</i>)	0,99	0,66	0,39	0,45
Азот нитратный (<i>NO₂</i>)	43,58	14,36	40,37	25,32
Азот нитратный (<i>NO₃</i>)	0,02	13,37	32,00	23,10
Железо общее (<i>Fe</i>)	3,96	0,00	4,69	2,56
Медь (<i>Cu</i>)	28,52	1011,0	64,83	55,40
Цинк (<i>Zn</i>)	38,63	375,50	41,57	150,23
Кальций (<i>Ca</i>)	1991,94	3467,22	1436,07	1653,20
Магний (<i>Mg</i>)	1337,18	2375,76	1414,10	1562,43
Сумма (М, усл. тонна)	18779,84	57543,37	38093,93	32900,02
(<i>W_{нрс}</i> – <i>W_{овз}</i>), км ³	0,896	0,058	0,173	0,231
Уровень нагрузки (<i>m</i> , усл. тонна/км ³)	20959,64	99558,10	220196,13	142424,32
Оценочный балл	10	10	10	10

Анализ среднего объема переноса загрязняющих веществ возвратными водами в водосборах бассейна реки Тобыл за рассматриваемый период увеличивается от 18779,84 до 32900,02 условной тонны, и последовательно и параллельно увеличивается уровень нагрузки от 20959,64 до 142424,32 условной тонны/км³.

Геоэкологическая оценка нагрузки возвратными водами в водосборах бассейна реки Тобыл позволила выделить проблемные водотоки и реки с «очень слабой» нагрузкой, так как основную нагрузку принимают ландшафтные системы в виде полей фильтрации, которые на основе теории геохимических барьеров, почва как активно функционирующие органо-минеральное тело, обеспечивает прохождение разнообразных физико-химических, биохимических, биологических и микробиологических процессов (А.И. Перельман, 1966).

В ходе геоэкологического анализа условий водопользования в водосборах бассейна реки Тобыл в разрезе определения влияния объемов водопотребления на формирование их водных ресурсов обычно проводится сопоставление с размерами естественного во-

дного стока, что позволяет обосновать необходимость проведения политики кардинального водосбережения и не допущения загрязнения их возвратными водами в цель обеспечения экологической устойчивости природной системы. Аналогичное сопоставление объемов сброса возвратных вод по отношению к величине среднегодового стока водосбора бассейна реки Тобыл характеризует, в определенном смысле экологическую емкость водотока, то есть насколько «сильна» его самоочищающая способность и сможет ли он «справиться» с поступающей массой загрязняющих веществ возвратными водами (Д. Ц. Цибудеева, 2014).

В то же время объемы сбрасываемых в водосборы бассейна реки Тобыл возвратных вод даже с учетом сопоставления со среднегодовым объемом стока рек не дают полного представления об интенсивности антропогенных нагрузок, так как не учитывают их гидрохимических особенностей, которые насыщены различными загрязняющими веществами, где водосбор бассейна реки Тобыл по классификации объему переноса загрязняющих веществ, относится к реке испытывающей катастрофическую нагрузку (таблица 3).

В последнее время наибольшее распространение получила методика оценки качества воды речных бассейнов, разработанных на основе связи гидрохимических и гидробиологических показателей, характеризующих геоэкологическое состояние водной экосистемы (В.В. Шабанов, В.Н. Маркин, 2008; В.Н. Маркин, 2009), которая широко принимают для эколого-водохозяйственной оценки водосбора речных бассейнов (Ж.С. Мустафаев и др., 2018; А.Т. Козыкеева, Jozef Mosiej, Б.Е. Тастемирова, 2019).

В настоящее время острой геоэкологической проблемой водосбора бассейна реки Тобыл является загрязнение воды вследствие поступления загрязненных возвратных вод. Для выявления причинно-следственной связи образования негативных явлений, разработана укрупненная схема водопользования в водосборах бассейна реки Тобыл (казахстанская часть) с составлением уравнения водохозяйственного и гидрохимического баланса для детального анализа состояния водной экосистемы (рисунок 2).

На основе структурного и системного ана-

лиза водопользования в водосборах бассейна реки Тобыл (казахстанская часть) в пределах Костанайской области Республики Казахстан (рисунки 1 и 2), включающих объем располагаемых водных ресурсов, объем водопотребления в отраслях экономики и возвратных вод, формирующихся коммунально-бытовыми, промышленными и сельскохозяйственными водоотведениями и их утилизаций на речных бассейнах, рельеф местности, поля фильтрации (таблица 2) и объем переноса загрязняющих веществ возвратными водами (таблица 3), изучены взаимосвязь между гидрологическими и гидрохимическими показателями. Для оценки качества воды и экологического состояния водных объектов с учетом их взаимосвязанных признаков на основе законов природы: «Все связано со всем», «Физико-химическое единство», «Оптимальности» (Реймерс, 1990) разработана модель водохозяйственного баланса водосбора бассейна реки Тобыл (казахстанская часть), учитывающее влияние природной среды на характер и масштаб использования водных ресурсов и воздействия развивающейся водно-ресурсной системы.

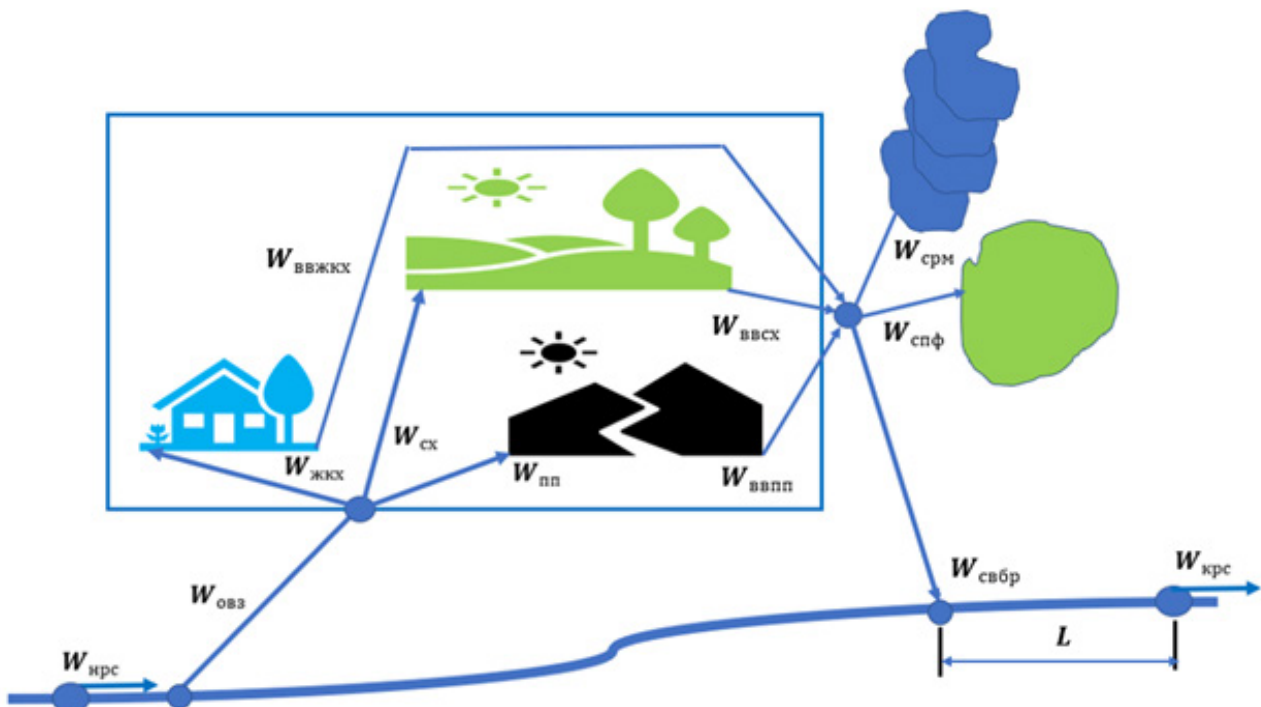


Рис.2. Укрупненная схема водопользования в водосборах бассейна реки Тобыл (казахстанская часть): $W_{нрс}$ - объем стока реки в начале расчетного створа; $W_{овз}$ - объем водозабора речного бассейна для отраслей экономики; $W_{жкх}$ - объем водопотребления жилищно-коммунального хозяйства; $W_{сх}$ - объем водопотребления сельского хозяйства; $W_{пп}$ - объем водопотребления промышленности; $W_{ввжкх}$ - объем возвратных вод жилищно-коммунального хозяйственного водопотребления; $W_{ввсх}$ - объем возвратных вод сельскохозяйственного водопотребления; $W_{ввпп}$ - объем возвратных вод промышленного водопотребления; $W_{срм}$ - объем возвратных вод, сбрасываемый на рельеф местности; $W_{снф}$ - объем возвратных вод используемых полей фильтрации; $W_{свбр}$ - объем возвратных вод сбрасываемый в речной бассейн; $W_{крс}$ - объем речного стока в конце расчетного створа

Уравнение водохозяйственного баланса водосбора бассейна реки Тобыл в простейшем случае имеет вид:

$$W_{крс} = W_{нрс} - W_{овз} + W_{свбр}, \quad (7)$$

где $W_{нрс}$ - объем стока реки в начале расчетного створа; $W_{крс}$ - объем речного стока в конце расчетного створа; $W_{овз}$ - объем водозабора речного бассейна для отраслей экономики: $W_{овз} = W_{жкх} + W_{сх} + W_{пп}$, здесь $W_{жкх}$ - объем водопотребления жилищно-коммунального хозяйства; $W_{сх}$ - объем водопотребления сельского хозяйства; $W_{пп}$ - объем водопотребления промышленности; $W_{свбр}$ - объем возвратных вод сбрасываемый в речной бассейн: $W_{свбр} = W_{овв} - W_{срм} - W_{спф}$, здесь $W_{овв}$ - сумма объемов возвратных вод: $W_{овв} = W_{ввжкх} + W_{ввсх} + W_{ввпп}$, $W_{ввжкх}$ - объем возвратных вод жилищно-коммунального хозяйственного водопотребления; $W_{ввсх}$ - объем возвратных вод сельскохозяйственного водопотребления; $W_{ввпп}$ - объем возвратных вод промышленного водопотребления; $W_{срм}$ - объем возвратных вод, сбрасываемый на рельеф местности; $W_{спф}$ - объем возвратных вод используемых полей фильтрации.

На основе водохозяйственного баланса приведен гидрохимический баланс водосбора бассейна реки Тобыл (рисунок 1):

$$W_{крс} \times C_{крс} = (W_{нрс} \times C_{нрс} - W_{овз} \times C_{нрс} + W_{свбр} \times C_{свбр}) \times \exp(-k \times L), \quad (8)$$

где $C_{крс}$ - концентрация речных вод в конце расчетного створа; $C_{нрс}$ - концентрация речных вод в начале расчетного створа; $C_{свбр}$ - концентрация возвратных вод, сбрасываемый в речной бассейн; k - коэффициент самоочищения воды, принятый равным $k = 0,001 \dots 0,006$ 1/км;

L - длина участка реки между точками сброса возвратных вод и конца расчетного створа.

Концентрация возвратных вод, сбрасываемый в речной бассейн определяется по следующему уравнению:

$$C_{свбр} = (\alpha_{жкх} \times C_{ввжкх} \times W_{ввжкх} + \alpha_{сх} \times C_{ввсх} \times W_{ввсх} + \alpha_{пп} \times C_{ввпп} \times W_{ввпп}) / W_{овв}, \quad (9)$$

где $C_{ввжкх}$ - концентрация возвратных вод жилищно-коммунального хозяйственного водопотребления; $C_{ввсх}$ - концентрация возвратных вод сельскохозяйственного водопотребления; $C_{ввпп}$ - концентрация возвратных вод промышленного водопотребления; $\alpha_{жкх}$ - доля возвратных вод жилищно-коммунального хозяйственного водопотребления; $\alpha_{сх}$ - доля возвратных вод сельскохозяйственного водопотребления; $\alpha_{пп}$ - доля возвратных вод промышленного водопотребления.

В водохозяйственной практике наиболее доступными информационно-аналитическими материалами является концентрация речных вод. Используя их, запишем выражение гидрохимического баланса в соответствии с укрупненной схемой водопользования на водосборах бассейна реки Тобыл (казахстанская часть):

$$(W_{нрс} - W_{овз}) \times C_{нрс} + W_{свбр} \times C_{свбр} = (W_{нрс} - W_{овз}) \times C_{доп} + W_{свбр} \times C_{доп}; \quad (10)$$

$$(W_{нрс} - W_{овз}) \times C_{нрс} - (W_{нрс} - W_{овз}) \times C_{доп} = W_{свбр} \times C_{доп} - W_{свбр} \times C_{свбр}, \quad (11)$$

где $C_{доп}$ - предельно-допустимая концентрация речных вод.

После решения уравнения гидрохимического баланса водосбора речных бассейнов относительно объема возвратных вод, сбрасываемый в реки, получим выражение для определения виртуального объема $W_{свбр}$:

$$W_{свбр} = [(W_{нрс} - W_{овз})(C_{нрс} - C_{доп})] / (C_{доп} - C_{свбр}). \quad (12)$$

В определенных условиях соотношение $(C_{нрс} - C_{доп}) / (C_{доп} - C_{свбр})$ представляет собой модификацию коэффициента, характеризующего индекса загрязнения воды (ИЗВ = $C_i / ПДК_i$, где $ПДК_i$ - предельно-допустимая концентрация вещества; C_i - концентрация загрязняющего вещества) и предельно-допустимой загрязненности воды речных бассейнов ($K_{доп}$):

$$K_{доп} = (C_{нрс} - C_{доп}) / (C_{доп} - C_{свбр}), \quad (13)$$

тогда предельно-допустимый объем возвратных вод, который может быть сброшен в водосбор речных бассейнов определяется по

следующей формуле:

$$W_{\text{свбр}} = (W_{\text{нрс}} - W_{\text{овз}}) \times K_{\text{доп}} \quad (14)$$

Физико-химический смысл $K_{\text{доп}}$ представляет собой осредненную кратность сверх нормативного превышения концентрации загрязняющего вещества ($C_{\text{нрс}} - C_{\text{доп}}$) над предельно-допустимой концентрацией загрязненностью возвратных вод ($C_{\text{доп}} - C_{\text{свбр}}$).

Величину коэффициента, характеризующего предельно-допустимую загрязненность воды речных бассейнов ($K_{\text{доп}}$) находим из уравнения водно-гидрохимического баланса в следующем виде:

$$W_{\text{крс}} \times -K_{\text{доп}}^{\text{крс}} = (W_{\text{нрс}} \times K_{\text{доп}}^{\text{нрс}} - W_{\text{овз}} \times K_{\text{доп}}^{\text{овз}} + W_{\text{свбр}} \times K_{\text{доп}}^{\text{свбр}}) \times \exp(-k \times L) \quad (15)$$

откуда получаем:

$$K_{\text{доп}}^{\text{крс}} = (W_{\text{нрс}} \times K_{\text{доп}}^{\text{нрс}} - W_{\text{овз}} \times K_{\text{доп}}^{\text{овз}} + W_{\text{свбр}} \times K_{\text{доп}}^{\text{свбр}}) \times \exp(-k \times L) / W_{\text{крс}} \quad (16)$$

где $K_{\text{доп}}^{\text{крс}}$ - коэффициент предельно-допустимой загрязненности воды речных бассейнов в конце расчетного створа; $K_{\text{доп}}^{\text{нрс}}$ - коэффициент предельно-допустимой загрязненности воды речных бассейнов в начале расчетного створа; $K_{\text{доп}}^{\text{свбр}}$ - коэффициент предельно-допустимой загрязненности возвратных вод, сбрасываемые в речные бассейны.

При этом воды сверх предельно-допустимого объема возвратных вод, которые могут быть сброшены в водосборы речных бассейнов и которые могут быть утилизированы на рельефах местности и полях фильтрации, определяются по следующему уравнению:

$$W_{\text{срм}} - W_{\text{спф}} = W_{\text{овв}} - W_{\text{свбр}} \quad (17)$$

Таким образом, разработанная математическая модель и методика определения качества воды, полученных при совместном решении уравнения гидрохимического и водохозяйственного баланса применительно водосбору бассейна реки Тобыл позволяет определить геоэкологический обоснованные нормативы: лимит водопотребления, исходя из возможности водных ресурсов речных бассейнов; предельно-допустимые сбросы веществ, поступающих в водосборы речных бас-

сейнов от сосредоточенных и рассредоточенных источников загрязнения, исходя из условия достижения заданного качества воды, соответствующие требованиям природных и антропогенных водопотребителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе изучения динамики формирования водных ресурсов в водосборах бассейна реки Тобыл и геоэкологических условий водопользования в отраслях экономики в условиях Костанайской области Республики Казахстан, определены нагрузки возвратными водами и загрязняющими веществами, которые показали, что они характеризуются высокой катастрофической нагрузкой, требующих регулирования природных и антропогенных деятельности для обеспечения в перспективе устойчивого развития региона.

Комплексная оценка водохозяйственного состояния природно-территориальных комплексов в водосборах бассейна реки Тобыл в пределах Костанайской области Республики Казахстан на основе составления и анализа системы уравнений водного и геохимического балансов для водных экосистем и их водосборов позволила провести оценку состояния речного бассейна, тенденцию его изменения и антропогенного влияния и построение комплекса математических моделей, описывающих формирование водного стока и химического состава вод в речном бассейне.

Разработанное на основе уравнения водохозяйственного и гидрохимического балансов водосбора бассейна реки Тобыл методологическое обеспечение, позволяющее прогнозирование качество воды с учетом геоэкологических условий водопользования, обеспечивает соблюдение санитарно-эпидемиологического норматива и позволит сохранить экологическое состояние водных объектов и планировать водоохранные мероприятия для формирования желаемого уровня качества воды в реке.

Структурный и системный анализ модели водохозяйственного баланса водосбора бассейна реки Тобыл (казахстанская часть) как методологической основы управления гидрологического и гидрохимического режимов дает возможность использовать ее не только для этого бассейна, но и для других водохозяйственных бассейнов Республики Казахстан, а также можно адаптировать для любых речных бассейнов с учетом территориальной организации водопользования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вершинская М.Е., Шабанов В. В., Маркин В.Н. Эколого-водохозяйственная оценка водных систем: Монография / М.Е. Вершинская, В.В. Шабанов, В.Н. Маркин. – М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2016. – 148 с.
2. Бимагамбетова Л.Н., Имангалиева А.К. Анализ распространения загрязняющих веществ в бассейне реки Тобол // Вестник КазАТК, 2017.- № 1 (100). – 48-52 с.
3. Ломакина С. С. Геоэкологический мониторинг поверхностных вод Северного Казахстана с использованием дистанционных методов и гис-технологий: Геоэкология (науки о Земле): 25.00.36, Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук.- Омск, 2019. – 124 с.
4. Ясинский С. В., Кашутина Е. А., Сидорова М. В., Нарыкова А. Н. Антропогенная нагрузка и влияние водосбора на диффузный сток биогенных элементов в крупный водный объект (на примере водосбора Чебоксарского водохранилища) // Водные ресурсы, 2020. – том 47. – № 5. – 630–648 с.
5. Данилов-Данильяна В. И., Полянина В. О., Фашевская Т. Б., Кирпичникова Н. В., Козлова М. А., Веницианова Е. В. Проблема снижения диффузного загрязнения водных объектов и повышение эффективности водоохраных программ // Водные ресурсы, 2020.- том 47.- № 5.- 503–514 с.
6. Стоящева Н.В. Антропогенная нагрузка на водные объекты бассейна Верхней Оби в разные по водности периоды: динамика и прогноз // Водное хозяйство России. – 2020. – № 3. – С. 52-67.
7. Бурлибаев М.Ж., Шенбергер И.В., Бурлибаева Д.М., Симернова Д.А., Сокальский В.А., Айтурсев А.М., Линник А.С., Милуков Д.Ю. Проблемы загрязнения основных трансграничных рек Казахстана. - Алматы: Канагат, 2014. – том 2. – 552 с.
8. Корытный Л.М., Безруков Л.А. Водные ресурсы Ангаро-Енисейского региона (геосистемный анализ). – Новосибирск: Наука, 1990. – 216 с.
9. Стоящева Н.В. Оценка антропогенной нагрузки на водные объекты бассейна верхней Оби в разные по водности периоды // Известия АО РГО, 2018. – № 4 (51). – 17-26 с.
10. Селезнева А.В. Антропогенная нагрузка на реки от точечных источников загрязнения // Известия Самарского научного центра РАН. – 2003. – Т. 5. – № 2. – С. 268-277.
11. Королев А.А., Розенберг Г.С., Гелашвили Д.Б., Панютин А.А., Иудин Д.И. Экологическое зонирование территории Волжского бассейна по степени нагрузки сточными водами на основе бассейнового принципа (на примере Верхней Волги) // Известия Самарского научного центра РАН. – 2007. – Т. 9. – № 1. – С. 265-269.
12. Орлов М.С., Абрамова Е.А., Щерба В.А. К оценке антропогенной нагрузки на воды речных бассейнов Подмосквья и Крыма // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10. – № 2 (13). – С. 681-684.
13. Голиков А.П. Территориальная организация водного хозяйства СССР. – Харьков: Вища школа, 1982. – 144 с.
14. Ратанова М.П. Типология промышленных узлов по их воздействию на окружающую среду // Географическое прогнозирование и охрана природы. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 120-128 с.
15. Безруков Л.А., Мисюркеев Ю.А. Географо-картографическая оценка использования, загрязнения и охраны рек Иркутской области // География и природные ресурсы. – 1995. – № 2. – С. 40-50.
16. Бибикова Т.С. Сравнительный анализ антропогенных воздействий на водные ресурсы России, Белоруссии, Украины в постсоветский период // Водные ресурсы. – 2011. – Т. 38. – № 5. – С. 515-523.
17. Скорняков В.А. Учет распределения природных факторов и антропогенных нагрузок при оценке качества воды в реках // Проблемы гидрологии и гидроэкологии. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – Вып. 1. – 238-262 с.
18. Mustafayev Zh. S. Forecast of surface water quality in river basins using physical and chemical indicators of natural systems // Reports of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan, 2022. – №3.– 132-144 p.
19. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Алдиярова А.Е., Рыскулбекова Л.М. Математическая модель динамики качества поверхностных вод водосборов речных бассейнов // Вестник КазНУ, серия географическая. – 2022. – №2. – С. 75-83.
20. Mustafayev Zh. S., Kenzhaliyeva B. T., Daldabayeva G. T., Alimbayev E. N. Hydrochemical exploration and ecological state of the territory in the lower down of the Syrdarya river // N E W S of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2023.– №4. – P. 157-175.
21. Мустафаев Ж. С., Кенжалиева Б. Т., Далдабаева Г. Т. Способ определения нормативов предельно-допустимой концентрации загрязняющих веществ в водных объектах речных бассейнов // Мелиорация земель в решении геоэкологических проблем Евразии: Материалы международной научно-практической конференции «Костяковские чтения». – М.: ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2024. – 303-309 с.
22. Отчет о деятельности РГУ «Тобол - Торгайская бассейновая инспекция по регулированию использования и охране водных ресурсов». – Костанай, 2005-2022. – 252 с.
23. Информационный бюллетень «Современные проблемы Тобол-Торгайского бассейна». – Костанай, 2005-2020. – 115 с.

24. Национально экологический бюллетень Костанайской области. – Костанай, 2005-2020. – С. 135.
25. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М.: Высшая школа, 1966. – 392 с.
26. Цибудеева Д. Ц. Геоэкологические условия водопользования в речных бассейнах Республики Бурятия: диссертация ... кандидата географических наук: 25.00.36. – Барнаул, 2014. – 202 с.
27. Шабанов В.В., Маркин В.Н. Оценка качества воды и экологического состояния водных объектов // Водоочистка, Водоподготовка, Водоснабжение. – 2008. – №10. – С. 28-37.
28. Маркин В.Н. Нормирование антропогенной нагрузки на реки // Природообустройство. – 2009. – №5. – С. 86-91.
29. Козыкеева А.Т., Jozef Mosiej, Тастемирова Б.Е. Комплексная оценка гидрохимического режима стока водосбора бассейна реки Тобол // Исследования, результаты. – 2019. – №1(81). – С. 97-103.
30. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Арвидас Повилайтис, Альдиярова А.К., Калмашова А.Н. Геоэкологическая оценка водосбора бассейна реки Есиль в условиях антропогенной деятельности // Исследования, результаты. – 2018. – №3(79). – С. 101-112.
31. Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
7. Burlibaev M.Zh., Shenberger I.V., Burlibayeva D.M., Simernova D.A., Sokal'skiy V.A., Aitureev A.M., Linnik A.S., Milyukov D.Yu. Problems of pollution of the main transboundary rivers of Kazakhstan. – Almaty: Kanagat, 2014. – Volume 2. – 552 p.
8. Korytny L.M., Bezrukov L.A. Water resources of the Angara-Yenisei region (geosystem analysis). – Novosibirsk: Nauka, 1990. – 216 p.
9. Stoyashcheva N.V. Assessment of anthropogenic load on water bodies of the upper Ob basin in periods of different water content // Izvestiya AO RGO, 2018. - No. 4 (51). – 17-26 p.
10. Selezneva A.V. Anthropogenic load on rivers from point sources of pollution // Bulletin of the Samarara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2003. – Vol. 5. – No. 2. – P. 268-277.
11. Korolev A.A., Rosenberg G.S., Gelashvili D.B., Panyutin A.A., Iudin D.I. Ecological zoning of the Volga basin territory by the degree of wastewater load based on the basin principle (on the example of the Upper Volga) // Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2007. – Vol. 9. – No. 1. – P. 265-269.
12. Orlov M.S., Abramova E.A., Shcherba V.A. On the assessment of anthropogenic load on the waters of river basins of the Moscow region and Crimea // Geopolitics and ecogeodynamics of regions. – 2014. – V. 10. – No. 2 (13). – P. 681-684.
13. Golikov A.P. Territorial organization of water management of the USSR. – Kharkov: Vishcha shkola, 1982. – 144 p.
14. Ratanova M.P. Typology of industrial hubs by their impact on the environment // Geographical forecasting and nature conservation. – Moscow: Moscow State University Publishing House, 1990. – 120-128 p.
15. Bezrukov L.A., Misyurkeev Yu.A. Geographical and cartographic assessment of the use, pollution and protection of rivers in the Irkutsk region // Geography and natural resources. – 1995. – No. 2. – P. 40-50.
16. Bibikova T.S. Comparative analysis of anthropogenic impacts on water resources of Russia, Belarus, Ukraine in the post-Soviet period // Water resources. – 2011. – Vol. 38. – No. 5. – P. 515-523.
17. Skornyakov V.A. Accounting for the distribution of natural factors and anthropogenic loads when assessing water quality in rivers // Problems of hydrology and hydroecology. – M.: Moscow State University Publishing House, 1999. – Issue. 1. – 238-262 p.
18. Mustafayev Zh. S. Forecast of surface water quality in river basins using physical and chemical indicators of natural systems // Reports of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan, 2022. – №3. – 132-144 p.
19. Mustafayev Zh.S., Kozykeyeva A.T., Aldiyarova A.E., Ryskulbekova L.M. Mathematical model of the dynamics of surface water quality in river basin catchments // Bulletin of KazNU, geographical series. – 2022. – No. 2. – P. 75-83.

REFERENCES

1. Vershinskaya M.E., Shabanov V.V., Markin V.N. Ecological and water management assessment of water systems: Monograph / M.E. Vershinskaya, V.V. Shabanov, V.N. Markin. – M.: Publishing house RGAU-MSHA, 2016. – 148 p.
2. Bimagambetova L.N., Imangalieva A.K. Analysis of the distribution of pollutants in the Tobol River basin // Vestnik KazATK, 2017. – No. 1 (100). – 48-52 p.
3. Lomakina S. S. Geoecological monitoring of surface waters of Northern Kazakhstan using remote sensing methods and GIS technologies: Geoecology (Earth sciences): 25.00.36, Dissertation for the degree of candidate of geographical sciences. – Omsk, 2019. – 124 p.
4. Yasinsky S. V., Kashutina E. A., Sidorova M. V., Narykova A. N. Anthropogenic load and the influence of the catchment area on the diffuse flow of biogenic elements into a large water body (using the catchment area of the Cheboksary Reservoir as an example) // Water resource, 2020. – Volume 47. – No. 5. – 630-648 p.
5. Danilov-Danilyana V. I., Polyanina V. O., Fashchevskaya T. B., Kirpichnikova N. V., Kozlova M. A., Venitsianova E. V. The problem of reducing diffuse pollution of water bodies and increasing the effectiveness of water protection programs // Water Resources, 2020. – Vol. 47. – No. 5. – 503-514 p.
6. Stoyashcheva N. V. Anthropogenic load on water bodies of the Upper Ob basin in different periods of water content: dynamics and forecast // Water management of Russia. – 2020. – No. 3. – P. 52-67.

20. Mustafayev Zh. S., Kenzhaliyeva B.T., Daldabayeva G.T., Alimbayev E. N. Hydrochemical exploration and ecological state of the territory in the lower down of the Syrdarya river // N E W S of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2023. – №4. – P. 157-175.
21. Mustafayev Zh. S., Kenzhaliyeva B. T., Daldabaeva G. T. Method for determining standards for maximum permissible concentrations of pollutants in water bodies of river basins // Land reclamation in solving geoecological problems of Eurasia: Proceedings of the international scientific and practical conference «Kostyakov Readings». – M.: FGBNU «FNC VNIIGiM named after A.N. Kostyakov», 2024. – 303-309 p.
22. Report on the activities of the RGU «Tobol-Torgay Basin Inspectorate for Regulation of Use and Protection of Water Resources». – Kostanay, 2005-2022. – 252 p.
23. Information bulletin «Modern problems of the Tobol-Torgay basin». – Kostanay, 2005-2020. – 115 p.
24. National environmental bulletin of the Kostanay region. - Kostanay, 2005-2020. – 135 p.
25. Perelman A.I. Landscape geochemistry. M.: Higher school, 1966. – 392 p.
26. Runova T.G., Volkova I.N., Nefedova T.G. Territorial organization of nature management. – M.: Science, 1993. – 102-109 p.
27. Shabanov V.V., Markin V.N. Assessment of water quality and ecological state of water bodies // Water purification, Water treatment, Water supply. – 2008. – №10. – P. 28-37.
28. Markin V.N. Standardization of anthropogenic load on rivers // Nature management. – 2009. – №5. – P. 86-91.
29. Kozykeyeva A.T., Jozef Mosiej, Tastemirova B.E. Comprehensive assessment of the hydrochemical regime of runoff of the Tobol River basin catchment area // Research, results. – 2019. – №1(81). – P. 97-103.
30. Mustafayev Zh.S., Kozykeyeva A.T., Arvydas Povilaitis, Aldiyarova A.K., Kalmashova A.N. Geoecological assessment of the catchment area of the Yesil River basin under anthropogenic activity // Research, results. – 2018. – №3(79). – P. 101-112.
31. Reimers N.F. Nature management. Dictionary-reference book. – M.: Mysl, 1990. – 637 p.

ТОБЫЛ ӨЗЕНІНІҢ СУ ЖИНАУ АЛАБЫНА ЛАСТАНУ КӨЗДЕРІНЕН ТҮСЕТІН АНТРОПОГЕНДІК ЖҮКТЕМЕНІ ЖЕР БЕТІ СУЛАРЫНЫҢ САПАСЫН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ АРҚЫЛЫ БАҒАЛАУ

Ж.С. Мұстафаев^{1*} *т.ғ.д., профессор*, **Ә.Т. Қозыкеева²** *т.ғ.д., доцент*, **Б.Е. Тастемирова²** *PhD*,
Л.М. Рыскулбекова² *PhD*

¹«Институт географии және су қауіпсіздігі» АҚ, Алматы, Қазақстан

²Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: z-mustafa@rambler.ru

Тобыл өзенінің су жинау алабындағы су ресурстарын пайдалану құрылымы мен динамикасына жүйелі талдау негізінде, Қазақстан Республикасының Қостанай облысындағы экономика салаларында суды пайдаланудың геоэкологиялық жағдайының қалыптасу динамикасы зерттелді. Қайтарма сулар мен ластаушы заттардың жүктемесі анықталып, олардың жоғары апатты жүктемемен сипатталатыны анықталды, бұл аймақтың болашақтағы орнықты дамуын қамтамасыз ету үшін табиғи және антропогендік қызметті реттеуді қажет етеді. Тобыл өзенінің (Қазақстан аумағындағы) су жинау алабындағы су пайдаланудың жалпы схемасы жасалып, ол су шаруашылығы мен гидрохимиялық баланс теңдеуінің математикалық, физикалық және химиялық белгілерін қалыптастыруға мүмкіндік берді. Бұл модель өзен алабындағы қайтарма сулардың шекті рұқсат етілген көлемін анықтап, судың санитарлық-эпидемиологиялық стандарттарға сай болуын қамтамасыз етеді, су нысандарының экологиялық жағдайын сақтауға және өзендегі су сапасының қажетті деңгейін қамтамасыз ету үшін су қорғау шараларын жоспарлауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: өзен алабы, су жинау алабы, жүктеме, желі, теңдеу, тепе-теңдік, модель, судың сапасы, қайтарма су, суды пайдалану.

ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC LOAD ON THE TOBYL RIVER BASIN CATCHMENT FROM POLLUTION SOURCES WITH MATHEMATICAL MODELING OF SURFACE WATER QUALITY

Zh. Mustafayev^{1*} *Doctor of Technical Sciences, Professor*, **A. Kozykeyeva**² *Doctor of Technical Sciences, Associate Professor*, **B. Tastemirova**² *PhD*, **L. Ryskulbekova**² *PhD*

¹*JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan*

²*Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan*

E-mail: z-mustafa@rambler.ru

Based on a systematic analysis of the structure and dynamics of water resource usage in the catchment area of the Tobyl River basin, the dynamics of the formation of geocological conditions of water use in the economic sectors within the Kostanay region of the Republic of Kazakhstan were studied. The analysis revealed a significant load from return waters and pollutants, indicating a high and potentially catastrophic pressure that requires regulation of both natural and anthropogenic activities to ensure the region's sustainable development in the future. A generalized water use scheme for the Kazakh part of the Tobyl River basin was developed, which facilitates the formation of mathematical, physical, and chemical indicators for water management and hydrochemical balance equations. This, in turn, allowed for the creation of a mathematical model of water quality and the determination of the maximum permissible discharge volume of return waters in the river basins. The model ensures compliance with sanitary-epidemiological standards and helps preserve the ecological state of water bodies while supporting the planning of water protection measures to achieve the desired level of water quality in the river.

Keywords: river basin, catchment, loads, scheme, equation, balance, model, water quality, return water, water use.

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/ Information about authors:

Мустафаев Жумахан Сулейменович – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории ландшафтоведения и проблем природопользования АО «Институт географии и водной безопасности», г. Алматы, пр. Сейфуллина, 458/1, *z-mustafa@rambler.ru*

Козыкеева Алия Тобожановна – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Водные ресурсы и мелиорация» Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, проспект Абая, 8, *aliya270863@gmail.com*

Тастемірова Бактыгүл Ельденовна - PhD, старший преподаватель кафедры «Водные ресурсы и мелиорация» Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, проспект Абая, 8, *tastemirovab@mail.ru*

Рысқұлбекова Лаура Молдахановна - PhD, старший преподаватель кафедры «Водные ресурсы и мелиорация» Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, проспект Абая, 8, *ryskulbekova.laura@mail.ru*

Мустафаев Жумахан Сулейменович – т.ғ.д., профессор, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ ландшафттану және табиғатты пайдалану мәселелері зертханасының бас ғылыми қызметкері, Алматы қ., Сейфуллина даңғылы, 458/1, *z-mustafa@rambler.ru*

Қозыкеева Әлия Тобожановна – т.ғ.д., доцент, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің «Су ресурстары және мелиорация» кафедрасының профессоры, Алматы қ., Абай даңғылы, 8, *aliya270863@gmail.com*

Тастемірова Бактыгүл Ельденовна - PhD, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің «Су ресурстары және мелиорация» кафедрасының аға оқытушысы, Алматы қ., Абай даңғылы, 8, *tastemirovab@mail.ru*

Рысқұлбекова Лаура Молдахановна - PhD, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің «Су ресурстары және мелиорация» кафедрасының аға оқытушысы, Алматы қ., Абай даңғылы, 8, *ryskulbekova.laura@mail.ru*

Mustafayev Zhumakhan – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Laboratory of Landscape Science and Environmental Management Problems of JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Seifullina ave., 458/1, *z-mustafa@rambler.ru*

Kozykeyeva Aliya - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Water Resources and Land Reclamation, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Abay Avenue, 8, *aliya.kt@yandex.ru*

Tastemirova Baktykul - PhD, Senior Lecturer, Department of Water Resources and Land Reclamation, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Abay Avenue, 8, *tastemirovab@mail.ru*

Ryskulbekova Laura - PhD, Senior Lecturer of the Department of Water Resources and Land Reclamation, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Abay Avenue, 8, *ryskulbekova.laura@mail.ru*

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution

Мустафаев Ж.С. – разработка концепции, разработка методологии

Козыкеева А.Т.- разработка концепции, разработка методологии, подготовка и редактирование текста

Тастемірова Б.Е.- проведение статистического анализа

Рысқұлбекова Л.М. - проведение статистического анализа и подготовка текста

Мустафаев Ж.С.– тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу

Қозыкеева Ә.Т. - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, мәтінді дайындау және өңдеу

Тастемірова Б.Е. - статистикалық талдау жүргізу

Рысқұлбекова Л. М. - статистикалық талдау жүргізу және мәтінді дайындау

Mustafayev Zh. – concept development, methodology development

Kozykeyeva A.- concept development, methodology development, preparing and editing the text

Tastemirova B. - conducting statistical analysis

Ryskulbekova L. - conducting statistical analysis and text preparation