

ун-т ; ред. кол. : В. Н. Бурдь (отв. ред.), Г. Г. Юхневич, И. М. Колесник, О. М. Третьякова. – Гродно : ЮрСаПринт, 2017. – С. 173–178.

8. Волчек, А. А. Автоматизация гидрологических расчетов / А. А. Волчек // Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды: Труды междунар. науч.-практ. конф. по проблемам водохозяйственного, промышленного и гражданского строительства и экономико-социальных преобразований в условиях рыночных отношений / Брест. политехн. институт. – Биберах–Брест–Ноттингем, 1998. – С. 55–59.

9. Кузьменко, Я. В. Оценка и прогнозирование стока малых рек в условиях антропогенных воздействий и изменений климата / Я. В. Кузьменко, Ф. Н. Лисецкий, В. И. Пичура // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – Выпуск № 6. – С. 1–9.

10. Мезенцев, В.С. Гидролого-климатическая гипотеза и примеры ее использования / В.С. Мезенцев // Водные ресурсы, 1995. – Том 22, №3. – С. 299 – 301.

11. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата/ А. А. Волчек, В. Н. Корнеев, С. И. Парфомук, И. А. Булак // под общ. ред. А. А. Волчек, В. Н. Корнеева. — Брест : Издательство «Альтернатива», 2017. – 225 с.

УДК 502.63

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЧНЫХ ВОД

А. А. Волчек¹, М. А. Таратенкова²

¹ Доктор географических наук, профессор, профессор кафедры природообустройства факультета инженерных систем и экологии УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : volchak@tut.by

² Старший преподаватель кафедры водоснабжение, водоотведение и охраны водных ресурсов УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : taratenkava@mail.ru

Реферат

Данная статья содержит сведения вероятностный прогноз гидрохимического режима речных вод на примере реки Мухавец. Анализ проведенных данные позволил получить закон распределения гидрохимических параметров и рассчитать 5 % и 95 % обеспеченные величины по таким показателям, как растворенный кислород, БПК₅, взвешенные вещества, общая минерализация, удельная электропроводность, ХПК, рН, магний-ион, гидрокарбонат-ион, кальций-ион, сульфат-ион, хлорид-ион. Проведенные исследования также позволили выявить изменение законностей между макро-ионами и общей минерализацией по сравнению с фоновыми значениями. Выявленные закономерности распределения обеспеченности гидрохимических показателей позволяет проектировать водоочистные сооружения с необходимой степенью надежности и экономической обоснованности, а также дает возможность прогнозирования динамики гидрохимических параметров речных вод.

Ключевые слова: гидрохимический режим, обеспеченность, коэффициент вариации, коэффициент асимметрии.

PREDICTION OF HYDROCHEMICAL PARAMETERS OF RIVER WATERS

A. A. Volchak, M. A. Taratenkava

Abstract

This article contains information about the probabilistic forecast of the hydrochemical regime of river waters on the example of the Mukhavets River. The analysis of the data made it possible to obtain the law of distribution of hydrochemical parameters and calculate 5% and 95% secured values for such indicators as dissolved oxygen, BOD₅, suspended solids, total mineralization, electrical conductivity, COD, pH, magnesium ion, hydrocarbonate ion, calcium -ion, sulfate ion, chloride ion. The conducted studies also revealed the change in patterns between macro-ions and total mineralization compared to background values. The revealed patterns of the distribution of the availability of hydrochemical indicators make it possible to design water treatment facilities with the required degree of reliability and economic feasibility, and also makes it possible to predict the dynamics of hydrochemical parameters of river waters.

Keywords: hydrochemical regime, availability, coefficient of variation, coefficient of asymmetry.

Введение. Интенсификация антропогенного воздействия на водные ресурсы требует изменения к нормированию и методологическому подходу при определении количественных характеристик. Зачастую, использование среднегодовых гидрохимических параметров не дает возможность адекватной оценки состояния водных экосистем и не позволяет сделать адекватный прогноз на ближайшую перспективу.

При проектировании водохозяйственных, строительных и дорожных сооружений широко применяется критерий обеспеченности гидрологических величин. Данный показатель отражает вероятность превышения характеристики среди возможных ее значений. Чаще всего требуется определить гидрологическую характеристику заданной обеспеченности, что легко решается, если известен закон распределения данной величины. Однако, на практике закон распределения чаще всего не известен. Что же касается определения обеспеченности гидрохимических величин, то упоминай в литературе, не встречается. Поэтому исследование данного вопроса представляет практический интерес для инженерно-технических расчетов при водохозяйственном проектировании.

Целью данной работы является выявление закономерностей пространственно-временной структуры гидрохимического режима, которые позволяют выявить прогнозные тенденции в зависимости от преобладающих сценариев развития климата в будущем.

В качестве объекта исследования выбрана реки Мухавец. Река Мухавец является типичной рекой Полесья, испытывающей нагрузку антропогенного характера от урбанизированной территории. На водосборе реки расположены: г. Брест, г. Жабинка и г. Кобрин.

Основная часть

В качестве исходного материала использованы статистические данные Государственного водного кадастра Республики Беларусь за период с 2013 по 2019 гг. по таким компонентам как содержанию растворенного кислорода, взвешенные вещества, БПК₅ (биологическое потребление кислорода за 5 суток), рН, общая минерализация, удельная электропроводность, кальций-ион, магний-ион, гидрокарбонат-ион, хлорид-ион, сульфат-ион, ХПК (химическое потребление кислорода) в воде по створам реки Мухавец [1].

Эмпирическая обеспеченность определялась по формуле:

$$p = \frac{m}{(n+1)} \cdot 100\% \quad (1)$$

где m – порядковый номер x в ранжированном ряду;
 n – длина ряда.

По вышеперечисленным показателям построены эмпирические кривые обеспеченности, по которым подобран закон распределения обеспеченности. Соответствие эмпирического закона распределения обеспеченности осуществлялось для логнормального распределения по критерию согласия χ^2 . Общий вид уравнения распределения плотности вероятности показателей имеет вид:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{1}{\sigma_z x} f(u) = \frac{1}{\sigma_z x \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right), & x > 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$u = \frac{(z - m_z)}{\sigma_z} \quad (3)$$

где s – интегрированная переменная;

m_z – математическое ожидание случайной величины Z ;

σ_z – среднеквадратическое отклонение случайной величины Z .

В качестве примера на рисунке 1 представлены динамика содержания взвешенных веществ, приведена гистограмма распределения и кривая распределения, построенная по логнормальному закону распределения для створа р. Мухавец выше г. Брест. Ряды наблюдений гидрохимических параметров имеют, как правило, ограниченную длину, что не позволяет определить значения максимальной или минимальной обеспеченности. Для решения этой задачи построена аналитическая кривая распределения, которая логически определяет значение параметра любой обеспеченности.

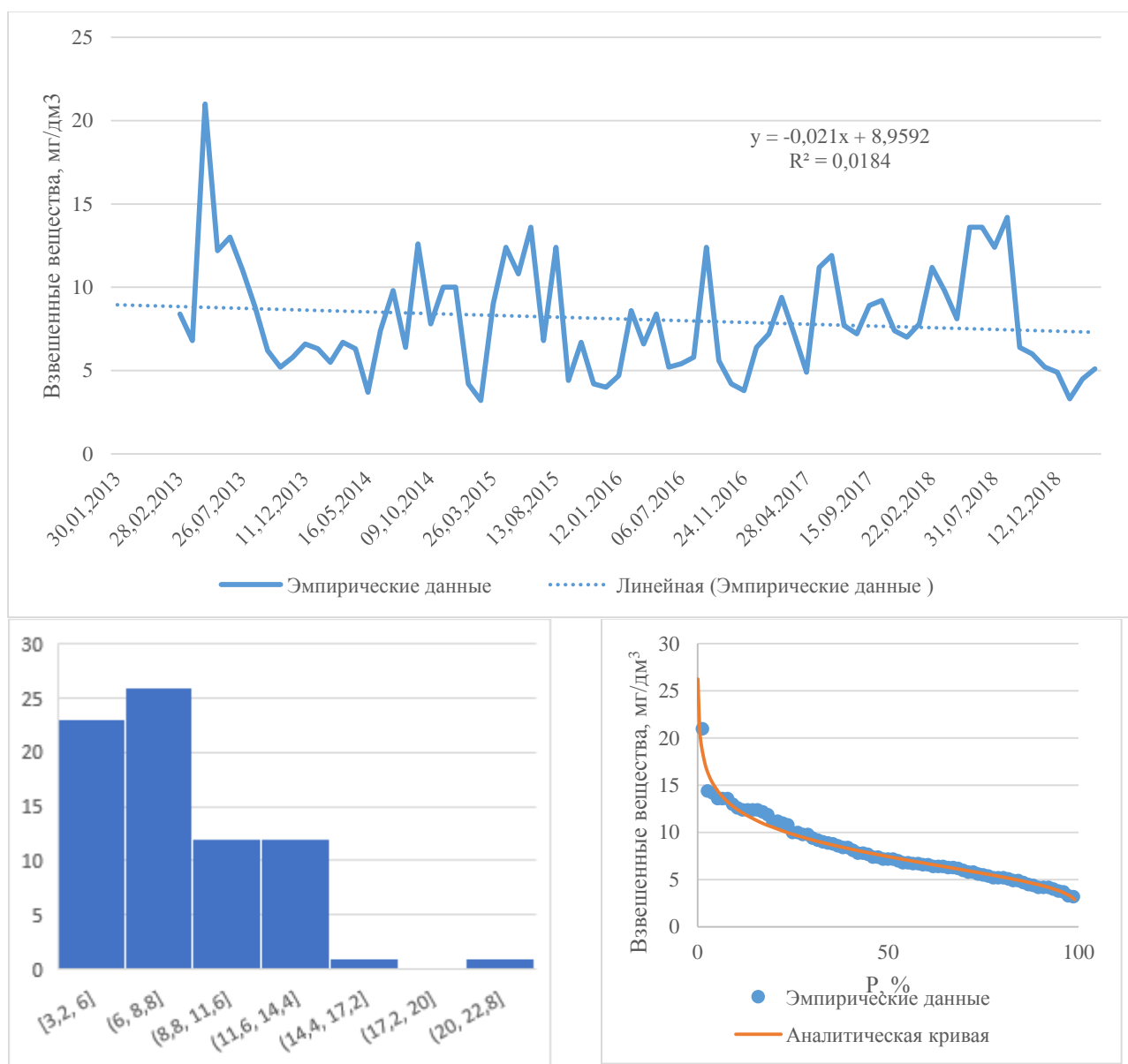


Рисунок 1 – Динамика содержания взвешенных веществ, гистограмма распределения и кривая распределения

По аналитической кривой, представленной на рисунке 1 были найдены величины гидрохимических параметров с обеспеченностью 5 % и 95 %. Эти данные сведены в таблицу 1.

Сравнивая средние данные по гидрохимическим показателям из таблицы 1 с 95 % обеспеченными величинами, прослеживается значительная разница, что сказывается на водохозяйственных расчетах при проектировании сооружений водоподготовки.

Таблица 1 – Обеспеченные величины гидрохимических параметров

Показатель	р. Мухавец выше Кобрина		р. Мухавец ниже Кобрина		р. Мухавец выше Жабинки		р. Мухавец ниже Жабинки		р. Мухавец выше Бреста						
	Среднее	Обеспе- ченность		Среднее	Обеспе- ченность		Среднее	Обеспе- ченность		Среднее	Обеспе- ченность				
		5 %	95 %		5 %	95 %		5 %	95 %		5 %	95 %			
Растворен- ный кисло- род, мгО ₂ /дм ³	7,3	13,0	3,6	8,2	12,8	5,0	8,4	12,6	5,3	8,2	12,6	5,0	8,6	12,0	6,0
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	1,8	2,7	1,1	2,3	3,3	1,5	2,0	3,1	1,3	2,1	3,1	1,2	1,9	2,6	1,3
Взвешенные вещества, мг/дм ³	8,4	16,0	3,5	9,6	19,0	3,9	9,2	17,8	4,2	9,5	17,0	4,5	8,1	14,6	3,8
рН	7,6	7,9	7,3	7,7	8,1	7,2	7,7	8,1	7,3	7,7	8,1	7,3	7,7	8,1	7,4
ХПК, мгО ₂ /дм ³	43,0	54,5	33,2	47,0	58,5	37,1	44,8	57,3	34,2	46,4	58,1	36,4	45,1	58,7	33,6
Общая минерализа- ция мг/дм ³	354	418	297	354	417	296	347	401	298	351	410	298	338	398	285
Удельная электропро- водность,	478	543	418	475	547	410	468	547	397	474	552	403	456	528	391
Кальций- ион, мг/дм ³	85,8	107,1	67,4	86,2	107,4	67,9	88,3	112,8	67,5	89,4	115,1	67,7	85,8	111,3	64,3
Магний-ион, мг/дм ³	11,2	18,4	2,9	10,9	18,2	5,8	11,6	18,7	6,6	11,7	19,2	6,5	10,7	18,2	5,6
Гидрокарбо- нат-ион, мг/дм ³	190,7	228,1	157,6	193,4	229,3	161,3	189,2	228,6	154,5	192,3	237,4	153,3	181,0	217,5	148,8
Сульфат- ион, мг/дм ³	38,9	60,0	23,3	39,8	59,8	24,8	41,0	61,8	25,3	42,8	62,2	27,8	42,0	61,9	26,8
Хлорид- ион, мг/дм ³	32,0	43,6	22,6	31,5	45,2	20,8	88,3	112,8	67,5	30,6	44,1	20,1	28,5	39,4	19,8

Как видно из таблицы 1, средние значения показателей превышают их обеспеченные величины, что ведет к завышению объемов сооружений водоподготовки и увеличению объемов реагентов, применимых в технологических схемах подготовки воды, что в свою очередь ведет и к увеличению осадков, образующихся в результате реагентной обработки.

Для более точного анализа данные в таблице 2 подсчитаны статистические показатели, характеризующие ряды данных по гидрохимическим показателям.

Таблица 2 – Основные статистические показатели

Показатели	Коэффициент вариации	Коэффициент асимметрии
1	2	3
р. Мухавец выше Кобрин		
Растворенный кислород	0,33	0,03
БПК ₅	0,25	1,22
Взвешенные вещества	0,50	1,40
рН	0,03	0,31
ХПК	0,14	-0,41
Минерализация	0,11	2,47
Электропроводность	0,07	-0,25
Кальций-ион	0,14	0,19
Магний-ион	0,32	0,45
Гидрокарбонат-ион	0,11	-0,70
Сульфат-ион	0,28	0,51
Хлорид-ион	0,18	-0,23
р. Мухавец ниже Кобрин		
Растворенный кислород	0,27	0,02
БПК ₅	0,24	1,00
Взвешенные вещества	0,45	0,68
рН	0,04	0,87
ХПК	0,13	-0,45
Минерализация	0,11	1,64
Электропроводность	0,09	-0,20
Кальций-ион	0,14	0,29
Магний-ион	0,33	0,77
Гидрокарбонат-ион	0,10	-0,80
Сульфат-ион	0,26	0,43
Хлорид-ион	0,23	0,61
р. Мухавец выше Жабинки		
Растворенный кислород	0,24	-0,37
БПК ₅	0,29	0,93
Взвешенные вещества	0,41	0,55
рН	0,03	0,05
ХПК	0,15	-0,08
Минерализация	0,09	0,29
Электропроводность	0,10	-0,05
Кальций-ион	0,15	0,14
Магний-ион	0,28	-0,01
Гидрокарбонат-ион	0,11	-1,58
Сульфат-ион	0,27	0,61
Хлорид-ион	0,23	0,31
р. Мухавец ниже Жабинки		
Растворенный кислород	0,25	-0,39
БПК ₅	0,27	1,08
Взвешенные вещества	0,42	1,20
рН	0,03	0,89
ХПК	0,14	0,45
Минерализация	0,10	-0,13
Электропроводность	0,09	-0,27
Кальций-ион	0,16	0,18
Магний-ион	0,30	0,19
Гидрокарбонат-ион	0,12	-1,42
Сульфат-ион	0,24	0,43
Хлорид-ион	0,43	0,04

Продолжение таблицы 2

1	2	3
р. Мухавец выше Бреста		
Растворенный кислород	0,21	0,14
БПК ₅	0,23	0,78
Взвешенные вещества	0,41	1,00
pH	0,03	0,25
XПК	0,17	1,24
Минерализация	0,09	-0,27
Электропроводность	0,09	-0,72
Кальций-ион	0,16	0,41
Магний-ион	0,33	0,49
Гидрокарбонат-ион	0,10	-1,36
Сульфат-ион	0,26	0,74
Хлорид-ион	0,19	-0,66

Анализируя данные таблицы 2, можно говорить о том, что коэффициент вариации не превышает 10 % для таких показателей как удельная электропроводность и pH на всех створах реки Мухавец. Это подтверждает незначительную степень рассеивания данных и их однородность. По всем остальным показателям коэффициент вариации не превышает 33 %, что означает среднюю и значительную степень рассеивания и однородность. Исключение составляет коэффициент вариации по взвешенным веществам, который превышает 33 %, что свидетельствует о неоднородности данных. Если рассматривать значения этого коэффициента относительно параметров по створам, то здесь тоже прослеживается однородность здесь разбежка составляет не более 6 %.

Коэффициент асимметрии показывает скос распределения данных, а знак – его направление. Исходя из данных таблицы 2 можно сделать вывод о том, что на всех створах наблюдения распределение имеет скос влево по таким показателям как гидрокарбонат-ион и удельная электропроводность, а по показателям взвешенные вещества, БПК₅, pH, Сульфат-ион, кальций-ион – влево. Что же касается градации по значениям этих коэффициентов, то значительная асимметрия наблюдается на всех створах по таким параметрам как, БПК₅, взвешенные вещества и гидрокарбонат-ион. На всех остальных створах значение асимметрии носит разнонаправленный характер.

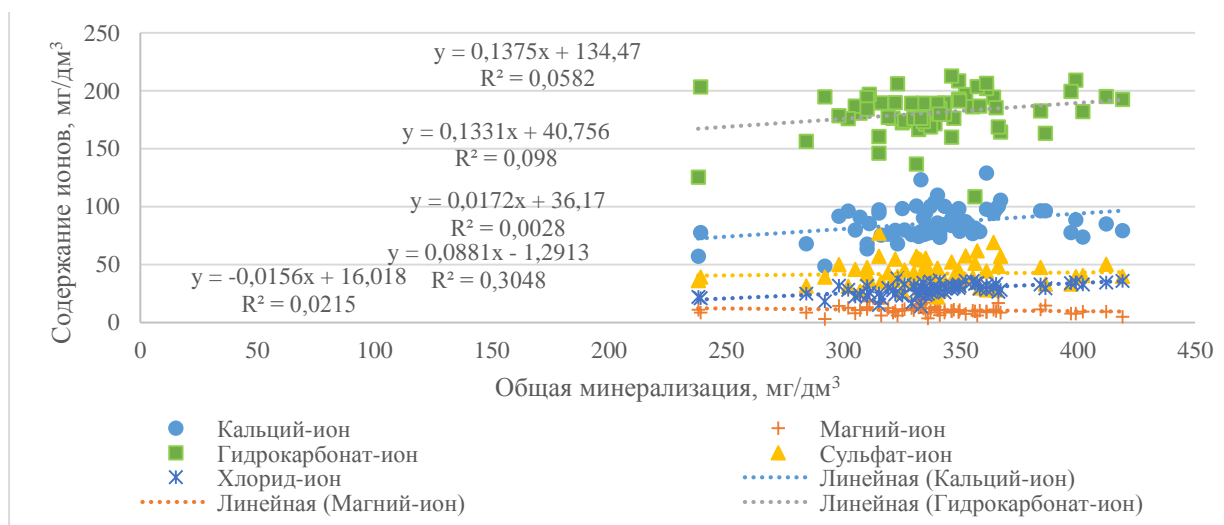


Рисунок 2 – График зависимости макро-ионов от общей минерализации

По результатам таблицы 2 видно, что временные ряды по магний-иону, кальций-иону, сульфат-иону, гидрокарбонат-иону, хлорид-иону по разным створам одной реки ведут себя по-разному. Направление асимметрии и значение данного критерия значительно отличается от створа к створу, например, незначительная асимметрия наблюдается по такому показателю как растворенный кислород на створах выше и ниже г. Кобрин, однако на створах ниже и выше г. Жабинка асимметрия становится значительной и меняет свое направление. На створе выше г. Бреста коэффициент асимметрии снова меняет свой знак, и его значение снова попадает в область незначительных значений. Если проследить их зависимость от общей минерализации, представленной на рисунке 2 (здесь график приведен только по створу выше г. Брест), то здесь отчетливо видно отсутствие линейной зависимости от общей минерализации. Отсутствие линейной связи уже исследовалось по некоторым створам реки Мухавец в работе авторов [2, 3]. Проводя сравнение данных с фоновыми значениями, за которые можно принять наблюдения 1959-1960 гг.[4], можно отметить повышение минерализации и содержания ионов в воде реки Мухавец, а также изменения закономерностей между ионами и общей минерализацией. По данным [4] закономерность между общей минерализацией и макро-ионами носила линейный характер, чего не скажешь сейчас. Данные факт можно объяснить интенсивным освоением водных ресурсов и влиянием человеческой деятельности на гидрохимический режим реки Мухавец.

Заключение

Получен вероятностный прогноз: поопределенным закон распределения были построены аналитический кривые по всем створам наблюдения р. Мухавец по таким показателям как растворенный кислород, взвешенные вещества, БПК₅, ХПК, общая минерализация, удельная электропроводность, рН, магний-ион, кальций-ион, гидрокарбонат-ион, сульфат-ион, хлорид-ион и определены 5% и 95 % обеспеченные величины данных показателей. Сравнивая средние значения и обеспеченные величины можно сделать вывод об использовании в водохозяйственном проектировании завышенных значений данных показателей, что ведет собой дополнительные экономические издержки. Выполнен анализ статистических показателей таких, как коэффициент вариации и коэффициент асимметрии. На всех створах наблюдения распределение скошено влево по таким показателям как гидрокарбонат-ион и удельная электропроводность, а по показателям взвешенные вещества, БПК₅, рН, сульфат-ион, кальций-ион – вправо.

Выявленные закономерности распределения обеспеченности гидрохимических показателей позволяет проектировать водоочистные сооружения с необходимой степенью надежности и экономической обоснованности, а также дает возможность прогнозирования динамики гидрохимических параметров речных вод.

Список цитированных источников

1. Государственный водный кадастр: Водные ресурсы, их использование и качество воды (за 2006-2019 гг.). – Минск, ЦНИИКИВР, 2020. – 172 с
2. Волчек, А.А. Статистическое моделирование изменения макроионного состава рек на примере реки Мухавец / А.А. Волчек, М.А. Таратенкова // Сборник материалов IV Междуна-

родной научно-практической конференции, приуроченной к 1000-летию города Бреста «Актуальные проблемы наук о Земле исследования трансграничных регионов» в двух частях. Часть 2. – Брест: ,2019 года. С. 6–10.

3. Волчек, А.А. Моделирование гидрохимических показателей качества реки Мухавец // А.А. Волчек М.А. Таратенкова / Сборник материалов региональной научно-практической конференции, приуроченной к 50-летию кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов «Перспективные методы очистки природных и сточных вод». – Брест: БрГТУ, 2019. С. 18-23.

4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озер и расчеты основных характеристик их режима. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – Т.5 : Белоруссия и Верхнее Поднепренье / под ред. К.А. Клюевой. – 1107 с.

УДК 556.182

ОСОБЕННОСТИ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ ВОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РЕГИОНАХ

А. А. Волчек¹, П. В. Шведовский², Л. В. Образцов³, Л. Г. Срывкина⁴

¹ Доктор географических наук, профессор, профессор кафедры природообустройства факультета инженерных систем и экологии УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : volchak@tut.by

² К. т. н., профессор, профессор кафедры геотехники и транспортных коммуникаций УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : ofig@bstu.by

³ К. т. н., доцент, доцент кафедры экономики и организации строительства УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : leonwladobr1@gmail.com

⁴ Старший преподаватель кафедры экономики и организации строительства УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: lgsryvkina@mail.ru

Реферат

Рассмотрена методология построения математических моделей по выбору оптимальной стратегии водоохранной деятельности в регионах и для водопотребителей. При этом водная среда рассматривается как единое целое со всеми техническими, экологическими, экономическими и другими, связанными с ней, проблемами.

Особое внимание уделено увязке и оптимизации инвестиций на водоохраные мероприятия с максимизацией темпов роста экономики регионов при заданной динамике загрязнений водной среды при планируемых темпах роста экономики.

Приведен также анализ математических моделей оптимальной стратегии водоохранной деятельности и на уровне предупреждений – водопотребителей.

Ключевые слова: моделирование, стратегия, регион, водная среда, водохозяйственная деятельность, речной бассейн, водопотребители.