УДК 556.55 (477.41)

Тимченко В.М., Дараган С.В.
Институт гидробиологии НАН Украины, г.Киев

СМЕНЯЕМОСТЬ ВОДЫ В ВОДОЕМАХ КИЕВА

Ключевые слова: *городские водоёмы; водный баланс; водообмен*

Введение. Среди множества процессов и явлений, которыми характеризуется гидрологический режим континентальных водоёмов, наиболее экологически значимым (ключевым) является их внешний водообмен, т.е. сменяемость воды. Этот процесс зависит прежде всего от интенсивности притока и оттока воды из водоёма, т.е. от соотношения составляющих водного баланса. Именно водный баланс лежит в основе учета водных масс, растворенных и взвешенных веществ, биогенных элементов и водных организмов в водоёме. Он же во многом определяет внутриводоемную динамику, а значит непосредственно сказывается на характере и интенсивности физических, химических и биологических процессов, ответственных за формирование состояния экосистем водоёмов и качества их водной среды.

Исходные предпосылки. При любых экологических оценках и прогнозах, связанных с изучением качества вод и биопродуктивности водоемов, определение составляющих их водного баланса и интенсивности внешнего водообмена становится первым и принципиально важным этапом исследования [1]. Там, где это положение не соблюдается, сведения об экологическом состоянии водных объектов принимают фрагментарный характер и в подавляющем большинстве случаев не раскрывают механизмы его формирования.

Подобная ситуация сложилась по отношению к многочисленным водоёмам, расположенным в черте города Киева. Можно сослаться на ряд опубликованных работ, в которых приводятся результаты изучения отдельных компонентов экосистем этих водоёмов [2–10]. Однако в них не раскрывается роль гидрологических и особенно водообменных процессов в функционировании экосистем, в лучшем случае приводятся сведения о морфометрии водных объектов и некоторых параметрах их водного режима. Исключением, пожалуй, является серия брошюр, вышедших в 2007 – 2011 гг. под общим названием „Екологічній стан урбанізованих заплавних водойм”, где гидрологические характеристики рассматриваются как ключевые факторы формирования абиотических и биотических составляющих экосистем водоёмов придаточной сети Каневского водохранилища, находящихся в пределах города. К таким работам можно отнести также некоторые статьи [11–13].

Интерес непосредственно к внешнему водообмену водоёмов вызван ещё и тем, что его искусственным изменением можно регулировать показатели состояния их экосистем и качество водной среды, что для городских условий имеет принципиальное значение.

Основное содержание работы. На территории Киева находится около 300 разных по происхождению, морфометрии и степени антропогенной нагрузки водоёмов (рис.1). Среди них 129 озер, 102 пруда, 24 залива и 43 небольших искусственных водоема [2].

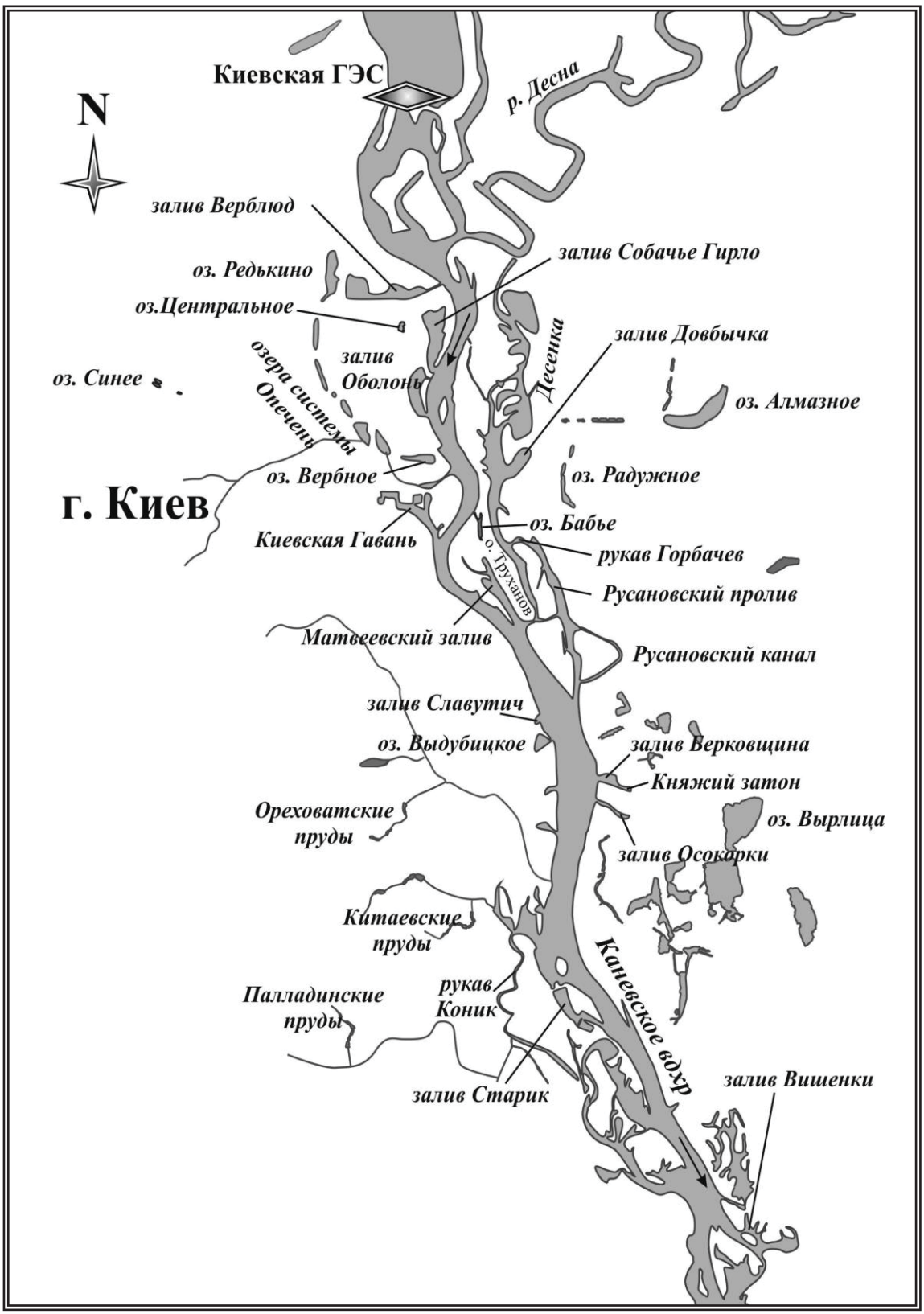

Рис.1. **Схема водной сети Киева**

Следует отметить, что литературные и справочные сведения о гидрографической сети города довольно разноречивы. Так, по данным государственного коммунального предприятия «Плесо», приведённым в статье Хильчевского В.К. и Бойко О.В. [4], указано, что на территории Киева расположено

более 200 озёр и прудов. В краткой характеристике водоёмов Киева, приведенной в книге «Екологічний стан київських водойм» [2], отмечено, что в Киеве насчитывается около 430 водных объектов. На сайте Управления водных ресурсов в Киеве и области [14] вообще помещена противоречивая информация о количестве и площади прудов в пределах города. В целом, большое количество водных объектов является одной из достопримечательностей столицы Украины.

Определённая часть городских водоёмов находится на сформированной аллювиальными отложениями пойме Днепра. Эти водоёмы имеют песчаное основание с неглубоким залеганием водоносных горизонтов. Большинство из них возникли в процессе многовекового смещения русла реки. На правобережье Днепра, которое характеризуется овражно-балочным типом рельефа, находятся в основном водоемы искусственного происхождения. Они образованы перегораживанием малых водотоков или возникли в карьерах.

Для систематизации всего многообразия водоёмов Киева, необходимой для оценки их водообменных показателей, мы разработали схему деления всех водоёмов на группы и подгруппы (рис. 2). В основу этой схемы положен генетический принцип и учёт степени антропогенного изменения, согласно чему все водоёмы, расположенные в черте г. Киева, делятся на две группы − *гидрогенные* и *искусственные*.

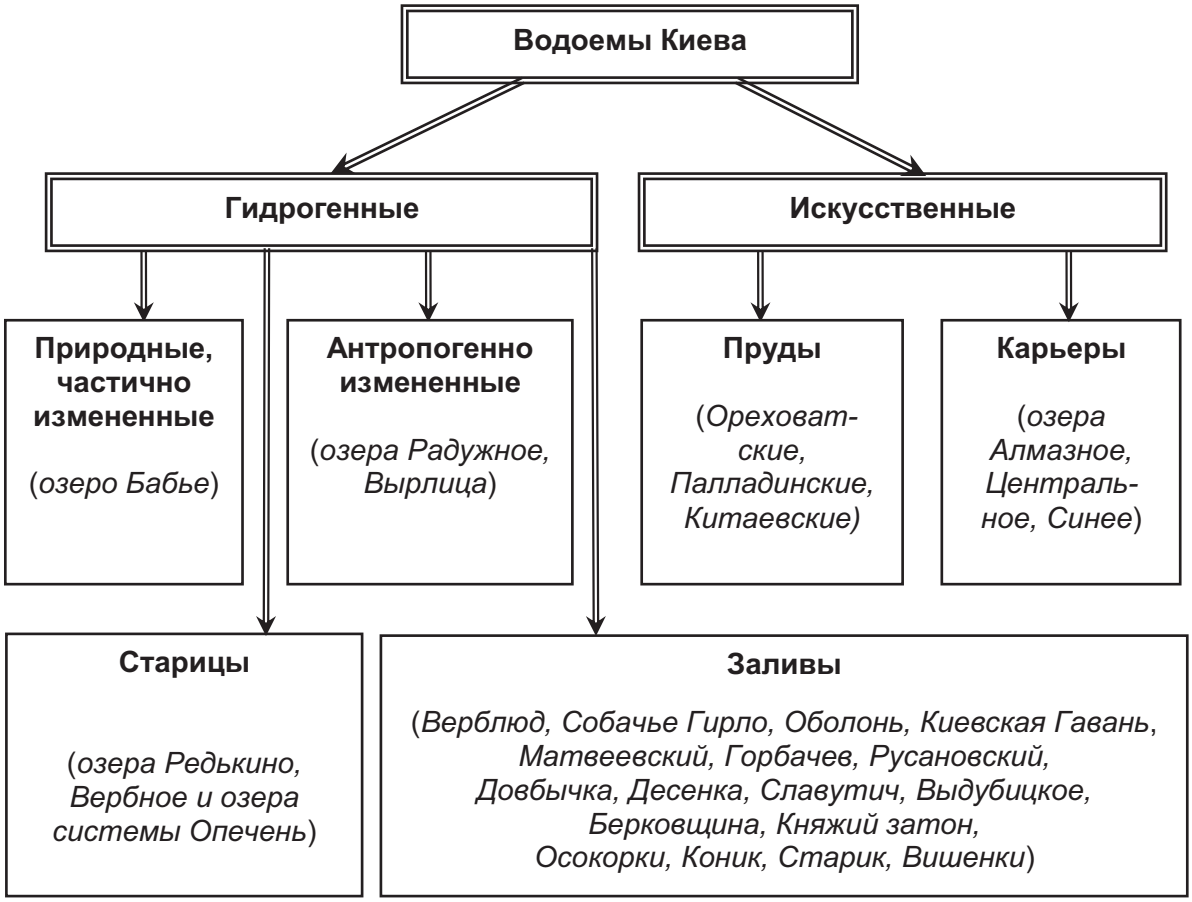

Рис.2. **Схема деления водоемов Киева на группы и подгруппы по генезису и степени антропогенного изменения (характерные представители)**

Водоёмы первой группы – это те, которые возникли под действием природных процессов. Большинство из них подверглись или подвергаются разной степени антропогенному преобразованию. Чаще всего это проявляется в искусственном изменении морфометрических параметров – углублении, расширении или, наоборот, уменьшении площадей. Для учёта этого фактора водоёмы гидрогенной группы предложено делить на следующие подгруппы:

а) *природные, частично изменённые* − водоёмы, в которых антропогенные преобразования морфологии незначительны и не повлияли на основные показатели водного режима;

б) *антропогенно изменённые* – природные водоёмы, испытавшие коренные преобразования морфологии;

в) *старицы* − водоемы, которые возникли на месте бывших рукавов и проток Днепра;

г) *заливы* – элементы гидрографической сети Днепра (Каневского водохранилища).

В группу искусственных водоемов входят две подгруппы − *пруды* и *карьеры*. К первой из них относятся водоемы, созданные на малых водотоках. Вторая включает водоемы, возникшие при добыче песка и глины.

Основными составляющими водного баланса любого из водоёмов г. Киева являются: приток и отток поверхностных вод (речки, ручьи, склоновый сток с прилегающей территории); приток и отток подземных вод; атмосферные осадки на поверхность водоёма; испарение с его водного зеркала. В некоторых водоёмах существенный вклад в водный баланс вносят сбросные воды предприятий и сточные воды жилых массивов. Отдельной и существенной статьёй водного баланса заливов выступает приток и отток воды из Днепра, точнее из Каневского водохранилища.

Общей для всех водоёмов приходной составляющей водного баланса являются атмосферные осадки на водную поверхность (W_{oc}). В районе Киева за год выпадает в среднем 645 мм влаги [15]. Это обеспечивает ежегодное пополнение каждого из городских водоемов в объёмах, зависимых от площади водного зеркала. Для водоемов со значительными площадями атмосферные осадки являются преобладающим источником питания. Так, в наибольшее по площади водного зеркала озеро Алмазное (группа *искусственные*, подгруппа *карьеры*) за счёт осадков за год поступает в среднем около 1,03 млн м^3 воды, что составляет 54 % приходной части его водного баланса.

Также общей для всех исследуемых водоёмов является расходная составляющая водного баланса, обусловленная испарением с их водного зеркала (W_{uc}). За год здесь с водной поверхности испаряется в среднем 527-мм слой воды [16]. В зависимости от площади водоёма на испарение теряется от 12,5 до 840 тыс. м^3 за год.

Определение составляющих водного баланса, обусловленного притоком ($W_{пов}$) и оттоком ($W_{ст}$) поверхностных вод, в условиях городских водоёмов Киева представляет сложную задачу. Регулярные и эпизодические натурные измерения стока ручьёв и речек в черте города практически не производятся. Имеющаяся информация о расходах воды зачастую касается отдельных проектов жилищного или промышленного строительства и не может быть применена для каких-либо обобщений относительно притока поверхностных вод к водоёмам Киева.

Склоновый сток также никем не оценивался. В такой ситуации мы вынуждены были обратиться к общепринятому способу определения поверхностного стока, основанному на использовании модуля стока территории. Согласно справочным

данным [17], средняя величина модуля поверхностного стока на территории Киевской области составляет 2,5 л/с км^2. Таким образом, с каждого км^2 площади водосбора в городские водоёмы должно поступать за год примерно 80 тыс. м^3. Фактически приток поверхностных вод к городским водоёмам несколько ниже из-за значительных потерь, обусловленных искусственным усложнением рельефа местности (дороги, насыпи и т.п.).

Ещё более сложной задачей является определение притока ($W_{гр}$) и оттока ($W_{ф}$) из водоёмов подземных вод. Для их оценки необходимы специальные гидрогеологические исследования. Поставить такие исследования только для определения притока-оттока подземных вод из городских водоёмов экономически не совсем реально. Поэтому мы проанализировали возможные расчетные пути решения этой задачи для конкретных групп и подгрупп водоёмов.

Так, на водоёмах, расположенных на пойменной и надпойменной террасах Днепра (гидрогенные, кроме заливов, и часть карьеров) приток и отток воды происходит через сложенные песками аллювиальные отложения, коэффициент фильтрации которых составляет примерно 32 м/сутки [12]. Разность отметок уровня между Каневским водохранилищем и водоёмом, как причина перемещения подземных вод, зависит от фазы водности Днепра. В период весеннего подъёма уровня в водохранилище происходит приток воды в водоём подземным путём, в остальное время года идёт её обратное перемещение.

При оценке этих потоков для каждого из водоёмов указанных групп и подгрупп использовался общепринятый способ, основанный на уравнении закона Дарси [18]. В качестве исходных параметров при этом принимались: напор и коэффициент фильтрации, площадь поперечного сечения подземного потока и длина пути фильтрации (расстояние между водохранилищем и водоёмом). Для остальных водоёмов также использовался указанный способ. Результаты расчётов приведены в табл. 1. Там же представлены все основные составляющие водного баланса характерных представителей групп и подгрупп водоёмов.

Основной составляющей водного баланса заливов является обмен водой с водохранилищем. Этот водообмен исследовался нами ранее [19]. Было установлено, что решающим фактором внешнего водообмена заливов речного участка Каневского водохранилища являются внутрисуточные колебания уровня воды в русловой сети, обусловленные неравномерным (попусковым) режимом работы Киевской ГЭС. Установлены закономерности трансформации попусковых волн и разработана методика расчёта амплитуд колебания уровня воды в любом створе речного участка водохранилища, в том числе у входа к каждому заливу [19]. Последнее использовано для расчёта притока-оттока вод всех заливов, расположенных в пределах речного участка Каневского водохранилища [20]. В табл. 2 приведены рассчитанные нами значения притока-оттока для заливов, находящихся в черте города при реально осуществляемых в последнее десятилетие попусках ГЭС. Эти данные свидетельствуют о значительных объёмах перетока воды между заливами и водохранилищем, что намного превышает остальные составляющие водного баланса этих водоёмов.

Следует заметить, что достоверная оценка составляющих водного баланса таких разных водоёмов, которыми располагает г. Киев, есть дело не только трудное, но и в значительной степени мало реализуемое. Особенно если это касается проблем точного учёта водных ресурсов. Однако точности рассчитанных нами показателей притока и оттока вод к основным группам (подгруппам) водоёмов, в том числе приведенным в табл. 1 и 2, вполне достаточно для оценки их проточности (внешнего водообмена), как важной абиотической характеристики их экосистем.

Таблица 1. **Водный баланс и внешний водообмен некоторых характерных для разных групп и подгрупп водоемов г. Киева (кроме заливов Днепра)**

Группы	Подгруппы	Характерные водоёмы	Площадь водного зеркала, тыс. м^2	Объем, тыс. м^3	Основные составляющие водного баланса, тыс. м^3/год						Годовой коэффициент водообмена, лет$^{-1}$	Период водообмена, лет
					приходные			расходные				
					($W_{ос}$)	($W_{пов}$)	($W_{гр}$)	($W_{ис}$)	($W_{ст}$)	($W_{ф}$)		
Гидрогенные	природные, частично измененные	оз. Бабье	47,2	94,6	30,4	42,5	115	24,9	–	163	1,99	0,50
	антропогенно измененные	оз. Радужное	142	474	91,6	–	355	74,8	–	372	0,94	1,06
		оз. Вырлица [12]	980	15400	644	67	372	507	–	576	0,07	14,2
	старицы	оз. Редькино	373	2570	240	157	1040	196	–	1250	0,56	1,78
		оз. Вербное	161	1130	104	9	419	85	–	447	0,47	2,12
Искусственные	карьеры	оз. Алмазное	1590	19300	1030	845	–	840	733	300	0,10	10,3
		оз.Центральное	23,7	95,6	15,3	–	64	12,5	–	66,8	0,83	1,21
		оз. Синее	44,0	37,6	28,4	81,4	–	23,2	–	86,6	2,92	0,34
	пруды	Палладинские	43,9	97,4	28,3	75,7	89,4	23,1	170	–	2,00	0,50
		Ореховатские	46,3	88,3	29,9	58,7	77,7	24,3	142	–	1,88	0,53
		Китаевские	51,5	96,4	33,2	241	–	27,2	123	124	2,84	0,35

Таблица 2. **Показатели внешнего водообмена гидрогенных водоемов г. Киева (подгруппа *заливы*) при наблюдавшихся колебаниях уровня воды в нижнем бьефе Киевской ГЭС**

Заливы	Показатели при колебаниях уровня					
	минимальных (0,18 м)		средних (0,54 м)		максимальных (1,25 м)	
	приток-отток, тыс. $м^3$/сутки	период водообмена, сутки	приток-отток, тыс. $м^3$/сутки	период водообмена, сутки	приток-отток, тыс. $м^3$/сутки	период водообмена, сутки
Верблюд	253	26,2	760	8,7	1760	3,8
Собачье Гирло	187	32,7	562	10,9	1300	4,7
Оболонь	144	40,3	432	13,4	1000	5,8
Киевская Гавань	202	27,6	605	9,2	1400	4,0
Матвеевский	124	20,2	372	6,7	860	2,9
Горбачёв и Русановский	346	14,9	1037	5,0	2400	2,1
Довбычка	282	24,2	847	8,1	1960	3,5
Десенка	1560	15,9	4670	5,3	10800	3,2
Славутич	7	33,5	22	11,2	51	4,9
Выдубицкое [21]	28	34,5	84	11,5	195	5,0
Берковщина [22]	48	55,8	150	17,8	360	7,4
Княжий затон [22]	8	11,5	26	3,7	63	1,5
Осокорки [23]	19	20,2	60	6,5	145	2,7
Коник	202	13,5	605	4,5	1400	1,9
Старик	78	28,9	233	9,6	540	4,2
Вишенки	22	63,5	66	21,2	153	9,0

В качестве показателей интенсивности внешнего водообмена в широкой практике гидрологических, в том числе эколого-гидрологических исследований применяются коэффициент и период водообмена.

Первый из них даёт представление о том, сколько раз за определённый заданный период (чаще всего год) в водоёме меняется водная масса. Второй указывает на то, за какое время происходит эта смена. Тот и другой показатели условные, так как не учитывают особенностей процесса смешивания вод при их смене. Тем не менее, они являются наиболее приемлемыми при гидроэкологических оценках, расчётах и прогнозах.

Нами определены средние величины коэффициентов и периодов водообмена большинства водоёмов г. Киева. Приведенные в табл. 1 и 2 показатели характеризуют проточность водоёмов, представляющих разные группы и подгруппы. *Наиболее проточными* среди водоёмов Киева являются заливы Днепра. Условная смена воды в них происходит в основном в течение 2−7 суток. Такого типа водоёмы должны были бы иметь хороший трофический статус [24]. К сожалению, большинство из заливов относятся к урбанизированным пойменным водоёмам [21–23] и состояние их экосистем во многом определяется степенью антропогенного воздействия. *Достаточно высокой проточностью* характеризуются пруды и подгруппа природных, частично изменённых водоёмов Киева. Вода в них меняется в среднем 1,5–2 раза за год. Именно благодаря хорошему внешнему водообмену они существуют и выполняют свои рекреационные функции. *К малопроточным* городским водоёмам (с периодом водообмена более года) относятся наиболее крупные озёра: Алмазное, Вырлица, Редькино, Вербное, Радужное и др. Их благополучные гидроэкологические показатели формируются, вероятнее всего, за счёт внутриводоёмной динамики, которая, как отмечалось, ответственна за направленность и интенсивность процессов формирования качества вод и состояния экосистем.

Заключение. На основе проведенных эколого-гидрологических исследований определено, что водоемы г. Киева характеризуются достаточно большим диапазоном периода водообмена (от 2 суток до более 10 лет). Значительное количество городских водоемов нуждается в улучшении или поддержании стабильного экологического состояния. Последнее можно решать путем регулирования их внешнего водообмена.

Список литературы

1. *Тимченко В. М.* Экологическая гидрология водоемов Украины / В.М. Тимченко– К.: Наук. думка, 2006. **2.** Екологічний стан водойм м. Києва: [відп. ред. В. А. Кундієв]. – К.: Фітосоціоцентр, 2005. – 219 с. **3.** *Афанасьєв С.А.* Характеристика гидробиологического состояния разнотипных водоемов г. Киева / С.А. Афанасьев // Вестник экологии. – 1996. – № 1–2. – С.112–118. **4.** *Хільчевський В. К.* Гідролого-гідрохімічна характеристика озер і ставків території м. Києва / В.К. Хільчевський, О.В. Бойко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – К.: Ніка-Центр. – 2001. Том 2. – С. 529–535. **5.** *Царенко П.М.* Альгофлора водойм м. Києва та його околиць / П.М. Царенко, Б.Є. Якубенко, П.Д. Клоченко, В.О. Медвідь // Науковий вісник Національного аграрного університету. – 2004. – Вип. 72. – С. 56–66. **6.** *Щербак В.И.* Сравнительная характеристика фитопланктона водоемов различных районов г. Киева / В.И. Щербак, Н. Е. Семенюк // Гидробиол. журн. – 2005. – Т. 41, №2. – С. 29–36. **7.** *Клоченко П.Д.* Оцінка екологічного стану безстічних озер м. Києва / П.Д. Клоченко, В.О. Медведь, З.Н. Горбунова, І.Ю. Іванова, Г.Г. Ліліцька // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2010. – Т. 2 (19). – С. 168–174. **8.** Екологічний стан київських водойм / [Афанасьєва О.А., Багацька Т.С., Оляницька Л.Г. та ін.]. – К.: Фітосоціоцентр, 2010. – 256 с. **9.** *Романенко В.Д.* Биоиндикация экологического состояния водоемов в

черте г. Киева / В.Д. Романенко, А.В. Ляшенко, С.А. Афанасьев, Е.Е. Зорина-Сахарова // Гидробиол. журн. – 2010. – 46, №2. – С. 3–24. **10.** *Щербак В.И.* Пространственно-временная динамика фитопланктона придаточной сети киевского участка Каневского водохранилища / В.И. Щербак, А.М. Задорожная, К.П. Калениченко // Гидробиол. журн. – 2014. – Т. 50, №1. – С. 3–14. **11.** *Тімченко О.В.* Еколого-гідрологічні дослідження озера Вирлиця (Київська ділянка Канівського водосховища) / О.В. Тімченко, О.П. Холодько // Озера та штучні водойми України: сучасний стан й антропогенні зміни: Матеріали І Міжнар. наук.-практ. конф. – Луцьк: РВВ «Вежа», 2008. – С. 208–211. **12.** *Дубняк С.С.* Еколого-гідроморфологічний аналіз умов та наслідків підвищення рівня ґрунтових і поверхневих вод в районі оз. Вирлиця в м. Києві / С.С. Дубняк // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: Наук. збірник. – К.: ВГЛ „Обрії". – 2009. – Т.17. – С. 62-76. **13.** *Timchenko V.M.* Management of floodplain's water bodies ecosystem on impounded rivers / V.M. Timchenko, O.V. Timchenko, N.S. Lukashenko // Ecohydrology and Hydrobilogy. – 2008. – Vol. 8, # 2–4. – P. 263–272. **14.** Водні ресурси [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.vodgosp.kiev.ua/menus/view/67 **15.** Клімат України / [В.М. Ліпінський, В. А. Дячук, В. М, Бабіченко та ін.] : за ред. В. М. Ліпінського. – К. : Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с. **16.** *Шерешевський А.І.* Розрахункове випаровування з водної поверхні на території України / А.І. Шерешевський, Л.К. Синицька // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2003. – Вип. 252. – С. 11–26. **17.** Справочник по водным ресурсам / [Под. ред. Б. И. Стрельца]. – К. : Урожай, 1987. – 304 с. **18.** Загальна гідрологія. Підручник / [Лемківський С.С., Хільчевський В.К., Ободовський О.Г. та ін.] – К. : Фітосоціоцентр, 2000. – 264 с. **19.** *Тимченко В. М.* Экологические аспекты водного режима киевского участка Каневского водохранилища / В.М. Тимченко, С.С. Дубняк // Гидробиол. журн. – 2000. – 36, №3. – С. 57–67. **20.** *Тимченко В. М.* Методические аспекты регулирования кислородного режима речных участков днепровских водохранилищ в летний период (на примере киевского участка Каневского водохранилища) / В.М. Тимченко, О.П. Оксиюк, О.В. Тимченко // Гидробиол. журн. – 2006. – 42, №1. – С. 99–107. **21.** Екологічний стан урбанізованих заплавних водойм. Озер Видубицьке / [Тімченко В. М, Линник П. М., Щербак В. І. та ін.] – Київ : Ін-т гідробіології НАН України, 2007. – 64 с. **22.** Екологічний стан урбанізованих заплавних водойм. Озер Берковщина / [Тімченко В. М, Линник П. М., Щербак В. І. та ін.] – Київ : Ін-т гідробіології НАН України, 2009. – 68 с. **23.** Екологічний стан урбанізованих заплавних водойм. Затока Осокорки / [Тімченко В. М., Линник П. М., Щербак В. І. та ін.] – Київ : Ін-т гідробіології НАН України, 2011. – 76 с. **24.** *Оксиюк О.П.* Гидробиологические особенности и оценка трофности пойменных водоемов устьевой области Днепра / О.П. Оксиюк, В.С. Полищук, Л.А. Журавлева и др. // Гидробиол. журн. – 1991. – 27, №6. – С. 3–10.

Змінюваність води в водоймах Києва

Тімченко В.М., Дараган С.В.

Оцінено інтенсивність зовнішнього водообміну різнотипних водойм м. Києва.

Ключові слова: *міські водойми; водний баланс; водообмін.*

Сменяемость воды в водоемах Киева

Тимченко В.М., Дараган С.В.

Оценено интенсивность внешнего водообмена разнотипных водоемов г. Киева.

Ключевые слова: *городские водоёмы; водный баланс; водообмін.*

Water exchange of Kyiv water bodies

Timchenko V.M., Daragan S.V.

The intensity of external water exchange of different-type Kiev's water bodies has been assessed.

Keywords: *urban water bodies; water balance; water exchange.*

Надійшла до редколегії 07.11.2014