

УДК 556.52 (282.05)

*В. М. Тимченко<sup>1</sup>, Е. И. Коржов<sup>2</sup>, О. А. Гуляева<sup>1</sup>,  
С. В. Батог<sup>1</sup>*

**ДИНАМИКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ  
ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА  
НИЗОВЬЯ ДНЕПРА**

В статье рассмотрены основные экологически значимые элементы гидрологического режима низовья Днепра. Проведена оценка влияния Каховской ГЭС на уровенный, скоростной, солевой и седиментационный режимы. Проанализировано влияние возможной реконструкции Каховского гидроузла на состояние экосистемы низовья Днепра.

*Ключевые слова:* низовье Днепра, гидрологический режим, Каховская ГЭС.

Последние систематические исследования гидрологического режима низовья Днепра (рис. 1) проведены в конце 80-х годов прошлого столетия. За прошедшее время под влиянием изменений абиотических (в том числе гидрологических) факторов активизировались процессы зарастания и заиления пойменных водоемов, ослабился водообмен с русловой сетью, что повлияло на состояние их экосистем и жизнедеятельность гидробионтов практически всех водных объектов исследуемой территории [1].

Изменения элементов гидрологического режима произошли вследствие комплекса природных и антропогенных факторов. Наиболее значимым антропогенным фактором в современных условиях является режим работы Каховской ГЭС, который в последние 20 лет изменился [1, 5].

Согласно сведениям пресс-службы Министерства энергетики и угольной промышленности Украины [2, 4], планируется реконструкция Каховской ГЭС путем увеличения пропускной способности ее агрегатов. Это повлечет за собой смену режима работы гидроузла и, как результат, экологического состояния низовья Днепра. Целью исследования была оценка роли гидрологических условий в функционировании экосистем низовья Днепра.

**Материал и методика исследований.** Материалом для статьи послужили сведения о суточной выработке электроэнергии Каховской ГЭС за 1980—2014 гг., которые использованы для определения ежечасных колебаний уровня и расходов воды в нижнем бьефе. Полученные материалы ана-

© В. М. Тимченко, Е. И. Коржов, О. А. Гуляева, С. В. Батог, 2015



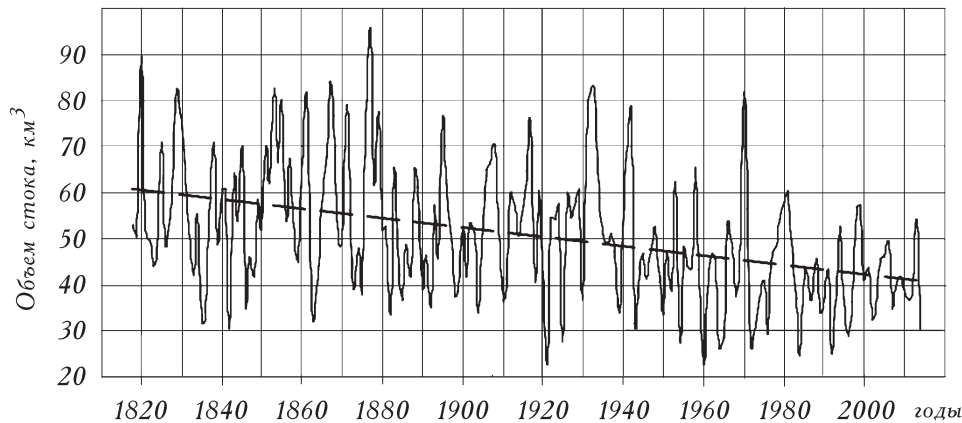
1. Водная система низовья Днепра.

лизировались и обрабатывались согласно общепринятым в гидрологии методикам [3, 6, 9]. Оценка возможных изменений гидрологического режима низовья Днепра проведена на основании проектных характеристик Каховской ГЭС после ее реконструкции, предоставленных ОАО «Укрводпроект» .

### **Результаты исследований и их обсуждение**

В природных условиях (до 1946 г.) средний объем стока в низовье Днепра составлял  $51,9 \text{ км}^3/\text{год}$  (от 22 до  $96 \text{ км}^3/\text{год}$ , рис. 2). В период весеннего половодья проходило 50—54% годового стока, наибольшие расходы в это время достигали 25 тыс.  $\text{м}^3/\text{с}$  [10].

Становление современного водного режима Днепра и большинства составляющих его экосистемы проходило в период 1947—1976 гг., когда постепенно создавались водохранилища Днепровского каскада ГЭС. В это время увеличивались необратимые заборы воды из Днепра (до 10—15  $\text{км}^3/\text{год}$ ). Средний сток уменьшился до 40—44  $\text{км}^3/\text{год}$ , а его доля в весенний период — до 36,3%.



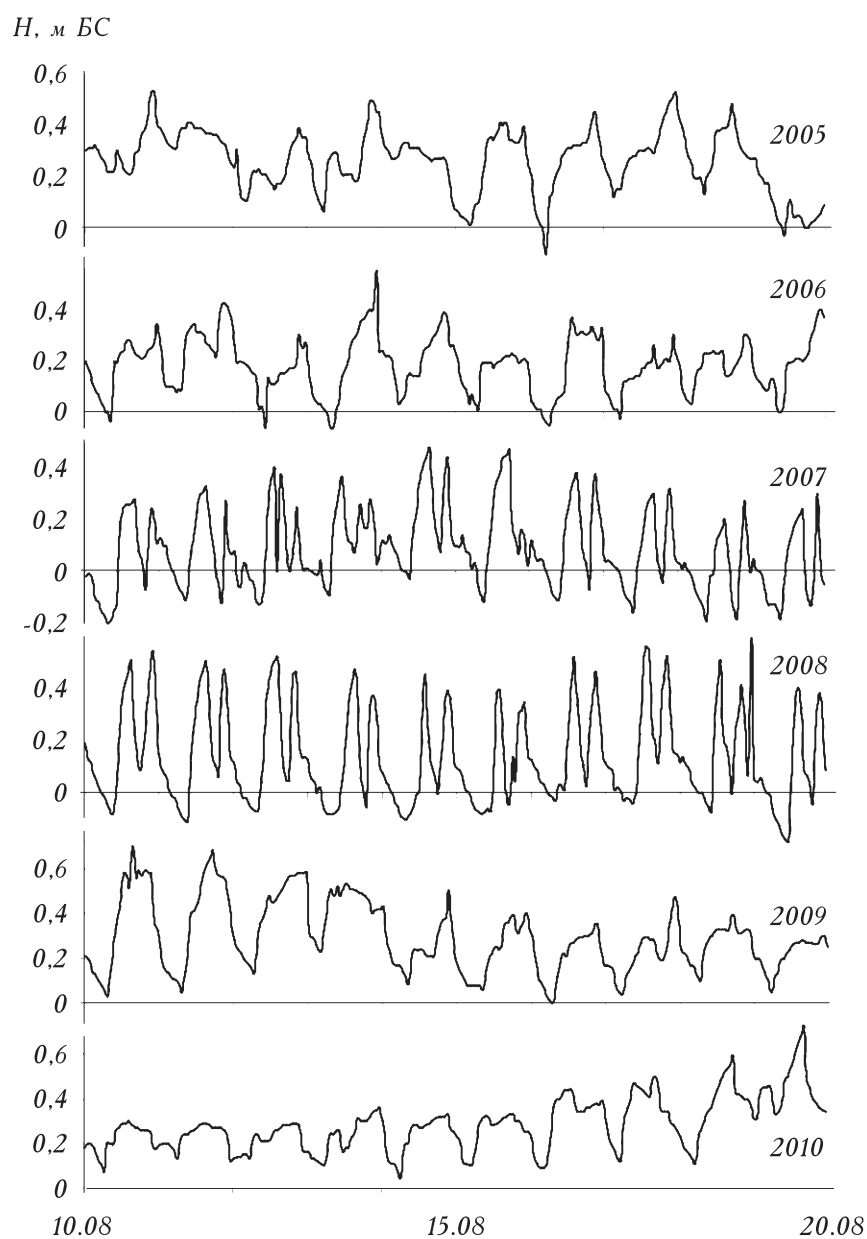
2. Многолетний ход стока Днепра в створе Каховской ГЭС.

Период стабилизации гидрологического режима Днепра, в том числе в районе его низовья, начался после заполнения последнего в каскаде Каневского водохранилища. Он состоит из двух циклов: маловодного (до 1993 года) и близкого к средней водности (последние 20 лет). В современный цикл, при средней водности в створе Каховской ГЭС 42,5 км<sup>3</sup>/год, существенно повысился сток в зимний и летне-осенний период, весеннее половодье стало маловыраженным, лишь последние несколько лет отмечены повышенные расходы воды в весенние месяцы.

На фоне общего сокращения стока и снижения высоты весеннего половодья решающим фактором функционирования экосистемы низовья Днепра стали неравномерные в течение суток и недель попуски Каховской ГЭС, обуславливающие кратковременные колебания уровня воды в русле. Последние, в свою очередь, генерируют изменения уровня в протоках, пойменных водоемах и других элементах водной системы практически на протяжении всего года (за исключением весеннего периода, когда ГЭС работает равномерно). Благодаря этим колебаниям в летний период значительные объемы днепровской воды проникают в пойменные водоемы и пониженные участки поймы, что обеспечивает существование пойменных гидробиоценозов и реализацию их самоочистительного потенциала.

Статистический анализ материалов наблюдений свидетельствует о том, что в 1980-е годы Каховская ГЭС в 42% случаев осуществляла два пуска в течение суток и в 27% случаев — один. Равномерный режим стока в нижнем бьефе, когда внутрисуточные колебания уровня не превышали 5 см, отмечен в 31% случаев. Особенность режима работы ГЭС, как и на современном этапе, заключалась в том, что одноразовые попуски, как правило, осуществлялись в периоды повышенной водности Днепра (рис. 3).

В настоящее время соотношение одно- и двухпиковых попусков кардинально изменилось: с 1994 по 2014 г. доля двухпиковых попусков снизилась до 7%, а однопиковых — возросла до 60%. Это стало причиной ухудшения



3. Фрагменты хода уровня воды в нижнем бьефе Каховской ГЭС в августе в годы с повышенной (2005, 2010), средней (2006, 2009) и малой водностью (2007, 2008).

состояния всех элементов экосистемы низовья Днепра за последние 20—30 лет.

Реконструкция Каховской ГЭС [2, 4] предполагает увеличение пропускной способности агрегатов станции до  $5100 \text{ м}^3/\text{с}$ , что, несомненно, изменит

гидрологический режим низовья Днепра и, соответственно, другие абиотические и биотические характеристики главного русла, рукавов, поймы и пойменных водоемов.

В русловой сети устьевого участка Днепра находится около 643 млн. м<sup>3</sup> воды, общая площадь водного зеркала всех водотоков составляет 112 км<sup>2</sup>. Более 160 пойменных водоемов имеют общую площадь более 72 км<sup>2</sup> и содержат в среднем 80—85 млн. м<sup>3</sup> воды. Обводненность пойменных массивов, площадь которых превышает 303 км<sup>2</sup>, зависит от водности реки. При очень низком стоке (150—300 м<sup>3</sup>/с) затопленными остаются около 31 км<sup>2</sup> (5%) поймы, при средних расходах (1000—1500 м<sup>3</sup>/с) затапливаются 220 км<sup>2</sup> (40%), при этом здесь находится более 13 млн. м<sup>3</sup> воды. При расходах 2000—2500 м<sup>3</sup>/с практически вся пойменная часть долины устьевого участка Днепра покрывается водой.

Специфика работы Каховской ГЭС определяет характерные черты водного режима каждой из подсистем устьевого участка. В основном русле и многих водотоках отмечаются периодические одно- и двухпиковые в течение суток прямые длинные волны, фазовая скорость которых достигает 7—8 м/с, с поступательным перемещением водных масс от плотины ГЭС до устья со скоростью 0,2—0,6 м/с. Благодаря этим волнам происходит водообмен пойменных водоемов с русловой сетью, который зависит от высоты волн, морфометрических характеристик самих водоемов и проток, соединяющих их с русловой сетью. Период внешнего водообмена водоемов устьевого участка Днепра — от двух суток до нескольких десятков, что и обуславливает существенные различия в их экологическом состоянии. Пойменные массивы кратковременно обводняются также за счет колебаний уровня воды в русловой сети.

Элементами гидрологического режима, изменение которых в проектных условиях повлечет за собой изменения показателей состояния экосистем основного русла и водных объектов его придаточной сети (озер, поймы, проток, рукавов), являются уровенный, скоростной, и седиментационный режимы.

*Уровенный режим* низовья Днепра в проектных условиях можно представить следующим образом. Всю пропускную способность агрегатов станции, скорее всего, предполагается использовать в период прохождения высокого весеннего половодья. Вероятность его наступления на фоне значительной регулирующей способности днепровского каскада водохранилищ достаточно мала. В таких условиях суточный объем сброса воды через створ Каховской ГЭС может составить 0,44 км<sup>3</sup>. Проектной полезной емкости водохранилища (6,8 км<sup>3</sup>) для осуществления такого сброса может хватить всего лишь на 15 сут, при интенсивном притоке из Запорожского водохранилища — на несколько больший срок. Используемая в настоящее время часть полезной емкости Каховского водохранилища (1,2 км<sup>3</sup>) будет сработана за трое суток, при этом подъем уровня воды в нижнем бьефе достигнет почти 2 м. Большую полезную емкость водохранилища использовать в настоящих условиях невозможно, что обусловлено самотечным наполнением Северо-Крымского канала. Если продолжительность пуска такой интенсивно-

сти превысит срок перемещения водных масс до устья (около 1,5 сут), то указанное повышение уровня воды установится во всей водной системе низовья Днепра. Подобные и бóльшие подъемы наблюдались во время половодья до зарегулирования стока Днепра.

В вегетационный период большие расходы воды и их внутрисуточные колебания весьма желательны для экосистем русла, поймы и пойменных водоемов низовий Днепра. Особенно благоприятны были бы краткосрочные попуски Каховской ГЭС с проектным максимальным расходом в летне-осенний период, которые обеспечивали бы значительные колебания уровня воды.

При реконструкции гидроузла гидрологические процессы будут формироваться следующим образом. Краткосрочные попуски с расходом  $5100 \text{ м}^3/\text{с}$  могут обеспечить подъем уровня воды в нижнем бьефе на  $1,71\text{—}1,92 \text{ м}$  (данные ОАО «Укргидропроект»). Образовавшиеся прямые длинные волны, перемещаясь по русловой системе низовья Днепра со скоростью более  $7\text{—}8 \text{ м/с}$ , будут трансформироваться. Если принять, что их трансформация будет происходить по экспоненциальному закону [7], то можно оценить изменение максимальной амплитуды колебания уровня воды в русле по его длине (табл. 1). Таким образом, двукратное увеличение попусковых расходов воды в проектных условиях однозначно приведет к увеличению амплитуд колебания уровней воды в русловой сети низовья Днепра.

Расчеты показывают, что в проектных условиях скорости течения в основном русле и рукавах Днепра увеличатся примерно в два раза. Изменятся также поля течений в многочисленных пойменных водоемах. Усилится внешний водообмен русловой сети — его период уменьшится с  $11,4\text{—}17,2$

**1. Амплитуда колебаний уровня воды в низовье Днепра в летне-осенний период при максимально возможных попусках Каховской ГЭС**

Расстояние от ГЭС, км	Амплитуда (м) при максимальных попусках	
	до реконструкции ( $2600 \text{ м}^3/\text{с}$ )	после реконструкции ( $5100 \text{ м}^3/\text{с}$ )
0	0,94—1,04	1,71—1,92
10	0,70—0,77	1,27—1,42
20	0,52—0,57	0,94—1,06
30	0,38—0,43	0,70—0,79
40	0,28—0,31	0,51—0,58
50	0,21—0,23	0,38—0,42
60	0,16—0,18	0,29—0,33
70	0,12—0,12	0,21—0,23
80	0,09—0,09	0,15—0,17
90	0,06—0,07	0,12—0,13

**2. Период внешнего водообмена (сут) основных водоемов низовья Днепра**

Водоемы	Диапазоны расходов воды в створе Каховской ГЭС (м <sup>3</sup> /с)					
	современный [5]	1000	2000	3000	4000	5000
Оз. Долгое	14,3	11,9	5,9	4,0	3,0	2,4
Оз. Хрещатое	14,1	11,7	5,8	3,9	2,9	2,3
Оз. Круглое	16,9	14,0	7,0	4,6	3,5	2,8
Верхний Сабецкий лиман	14,1	11,8	5,8	3,9	2,9	2,3
Нижний Сабецкий лиман	2,5	2,0	1,0	0,7	0,5	0,4
Оз. Бол. Дуплечи	14,3	11,8	5,9	3,9	3,0	2,4
Оз. Мал. Дуплечи	25,8	21,3	10,7	7,1	5,3	4,2
Оз. Лебединое	15,7	12,9	6,4	4,3	3,2	2,6
Казначеевский лиман	3,5	2,8	1,4	1,0	0,7	0,6
Фроловский лиман	3,6	2,9	1,5	1,0	0,7	0,6
Олексеевский лиман	7,8	7,7	3,9	2,6	2,0	1,6
Голубов лиман	5,3	5,0	2,5	1,7	1,3	1,0
Оз. Вчерашнее	7,2	6,7	3,4	2,3	1,7	1,4
Оз. Круглое	7,9	9,2	4,6	3,1	2,3	1,8
Оз. Буряковое	13,0	14,3	7,0	4,7	3,5	2,8
Оз. Дикенькое	13,2	14,2	7,1	4,7	3,5	2,8
Оз. Поляковое	10,6	11,5	5,8	3,9	2,9	2,3
Кардашинский лиман	8,3	9,6	4,8	3,2	2,4	1,9
Оз. Назарово-Погорелое	21,8	27,0	13,9	9,2	7,0	5,5
Оз. Зацитное	8,9	11,4	5,5	3,7	2,8	2,2
Оз. Скадовск-Погорелое	18,9	23,4	12,1	8,0	6,0	4,8
Оз. Рогозоватое	14,0	17,3	8,9	5,9	4,5	3,5
Оз. Безмен	9,6	14,3	6,9	4,7	3,5	2,8
Оз. Чичужное	6,1	9,6	5,0	3,3	2,5	2,0
Оз. Виноградное	9,6	13,7	7,1	4,7	3,6	2,8
Оз. Горелое	23,5	33,7	17,5	11,5	8,7	6,9
Оз. Нижнее Солонецкое	11,3	22,8	11,4	7,9	5,8	4,7
Оз. Бублица	6,0	12,9	6,5	4,3	3,2	2,6
Оз. Нижний Круглик	10,1	20,6	10,3	6,6	5,0	4,0
Оз. Борщевое	11,4	24,6	12,3	8,2	6,2	4,9
Оз. Золотое	8,1	21,9	10,2	7,0	5,3	4,1

Продолжение табл. 2

Водоемы	Диапазоны расходов воды в створе Каховской ГЭС (м <sup>3</sup> /с)					
	современный [5]	1000	2000	3000	4000	5000
Оз. Дедово	8,6	23,2	10,8	7,4	5,6	4,4
Збурьевский Кут	7,3	17,7	9,4	6,2	4,6	3,6
Оз. Краснокузовое	8,4	20,4	10,9	7,1	5,3	4,2
Оз. Гапка	7,9	19,1	10,2	6,7	4,9	3,9
Оз. Лягушачее	12,6	25,3	12,7	8,7	6,5	5,2

до 5,8—8,8 суток. Предполагаемые внутрисуточные колебания уровня воды в русловой сети низовья Днепра однозначно усилят *внешний водообмен пойменных водоемов*. Значения периода внешнего водообмена реперных водоемов в современных условиях [5], рассчитанные согласно предложенной нами методике [7, 8], приведены в таблице 2. При проектной максимальной амплитуде расходов одного попуска большинство водоемов будет промываться днепровской водой в пять — шесть раз быстрее. Поскольку максимальные попуски в летне-осенний период маловероятны, также рассчитаны периоды внешнего водообмена при промежуточных значениях диапазонов попусков. В любом случае, в проектных условиях водообменные процессы в этих водоемах будут более интенсивными, чем в настоящее время.

Также резко усилятся *водообменные процессы в пойменных массивах* низовья Днепра. Еще в 1980-х годах в течение вегетационного периода на пойму поступало 1,35 км<sup>3</sup> днепровской воды, что составляло около 6% объема его стока [7]. В 15—20% случаев водообмен между поймой и русловой сетью отсутствовал. В проектных условиях высота и продолжительность затопления поймы будут достаточно большими. Существенно усилятся промывка пойменных массивов и, следовательно, самоочистительные возможности сообществ высшей водной растительности.

Усиление динамики вод безусловно приведет к изменению *седиментационного режима* как в русловой сети, так и в пойменных водоемах. Увеличение скорости течения повысит способность потоков переносить взвешенный твердый материал — продукты размыва дна и берегов самих русел, где за много лет зарегулированного стока накопилось большое количество отложений. Кроме того, в водные массы будет поступать, особенно в первые годы после реконструкции Каховской ГЭС, большое количество органических взвесей из пойменных водоемов, где трансседиментация донных отложений станет ведущим процессом формирования качества вод. Следует подчеркнуть, что именно автохтонный материал (минеральный и органический) будет обеспечивать показатели мутности воды и принимать участие в формировании нового распределения и состава донных отложений во всех водных объектах устьевом участке Днепра.



При проектном увеличении попусков Каховского гидроузла практически не будет существовать проблемы *поступления соленых вод* в русло Днепра на какое-либо значительное расстояние даже в период летне-осенней межени. Если исходить из методики расчета [9] и учесть, что соленость воды в восточной части лимана обычно не превышает 2—4‰ [3], то уже при попусках 600—700 м<sup>3</sup>/с соленых вод в русле Днепра ожидать не следует, а при 1500 м<sup>3</sup>/с их вхождение в устье реки полностью исключается.

### Заключение

Гидрологический режим устьевоего участка Днепра в значительной степени зависит от режима работы Каховской ГЭС. Несоблюдение рекомендованных нами в 1980-х годах правил осуществления кратковременных попусков ГЭС в летне-осенний период явилось одной из главных причин постепенного евтрофирования водных объектов низовья и ухудшения экологической ситуации в них.

Возможная реконструкция, предполагающая увеличение пропускной способности Каховского гидроузла, может стать важным рычагом улучшения гидрологических условий функционирования экосистемы низовья Днепра.

\*\*

*У статті розглядається динаміка основних екологічно значущих елементів гідрологічного режиму пониззя Дніпра. Проведена оцінка впливу Каховської ГЕС на рівневий, швидкісний, солевий та седиментаційний режими. Проаналізовано вплив можливої реконструкції Каховського гідровузла на стан екосистеми пониззя Дніпра.*

\*\*

*The main ecologically important elements of hydrological regime of the lower reaches of the Dnieper River have been considered. The influence of the Kakhovka HPS on the water level, velocity of flow, salt and sedimentation regimes has been evaluated. The impact of the Kakhovka HPS facilities reconstruction on the ecosystem of the lower section of the Dnieper River has been analyzed.*

\*\*

1. Алексенко Т.Л. Итоги работы Херсонской гидробиологической станции НАН Украины по изучению биоразнообразия водных систем Днепро-Бугской устьевой области // Современные проблемы гидроэкологии. Перспективы, пути и методы решений: Материалы III междунар. науч. конф. — Херсон: Вишемирський, 2012. — С. 3—6.
2. В 2015 году стартует строительство Каховской ГЭС-2. — Режим доступа: <http://ura-inform.com/ru/economics/2013/04/01/v-2015-godu-startuet-stroitelstvo-kakhovskoj-ges-2>.
3. Днепро-Бугская эстуарная экосистема. — Киев: Наук. думка, 1989. — 240 с.
4. Каховская ГЭС-2 спасет Украину от дефицита электроэнергии. — Режим доступа: [http://kherson.in/news/kahovskaja\\_ges\\_2\\_spaset\\_ukrainu\\_ot\\_defitsita\\_elektroenergii](http://kherson.in/news/kahovskaja_ges_2_spaset_ukrainu_ot_defitsita_elektroenergii).

5. Коржов С.І. Зовнішній водообмін руслової та озерної систем пониззя Дніпра в сучасний період // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2013. — Т. 2. — С. 37—45.
6. *Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод* / За ред. В. Д. Романенка. — К. : ЛОГОС, 2006. — 408 с.
7. Тимченко В.М. Эколого-гидрологические исследования водоемов Северо-Западного Причерноморья. — Киев: Наук. думка, 1990. — 240 с.
8. Тимченко В.М. Внешний водообмен в пойменных водоемах устьевом участка Днепра как фактор управления их экосистемами // Гидробиол. журн. — 1996. — Т. 32, № 5. — С. 90—112.
9. Тимченко В.М. Экологическая гидрология водоемов Украины. — Киев: Наук. думка, 2006. — 383 с.
10. Швец Г.И. Многовековая изменчивость стока Днепра. — М.: Гидрометеиздат, 1979 г. — 84 с.

<sup>1</sup> Інститут гідробіології НАН України, Київ

<sup>2</sup> Херсонська гідробіологічна станція  
НАН України, Херсон

Поступила 17.03.15