

АССИМИЛЯЦИОННАЯ ЕМКОСТЬ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И УСТОЙЧИВОСТЬ АККУМУЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Е. И. Шаврак

Волгодонский инженерно-технический институт Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Россия

Поступила в редакцию 4 сентября 2012 г.

Аннотация: В статье определены значения условной ассимиляционной емкости Цимлянского водохранилища к марганцу (2+), меди, нефтепродуктам и фосфатам. Идентифицирован уровень экологического неблагополучия территории водоема. Проведена оценка устойчивости процессов самоочищения воды к внешнему воздействию. Установлена взаимосвязь между показателями экологического неблагополучия и устойчивости.

Ключевые слова: условная ассимиляционная емкость, Цимлянское водохранилище, экологическое неблагополучие, аккумуляционные процессы, устойчивость.

Abstract: The article defines the values of an assimilative capacity of the Tsymlyansk reservoir to manganese (2+), copper, oil products and phosphates. The level of environmental ill-being of the reservoir is identified. An assessment of the stability of the self-purification processes of water from external influence is held. The dependence between the stability and ecological ill-being is defined.

Key words: conditional assimilative capacity, Tsimlyansk Reservoir, environmental deprivation, accumulation processes, stability.

Известно, что одним из главных факторов сохранения биосферы является самовосстановительная способность, называемая иначе ассимилирующей способностью. Ее характеризуют с помощью ассимиляционной емкости (АЕ) – максимальной динамической вместимости такого количества загрязняющего вещества, которое может быть за единицу времени накоплено, разрушено, трансформировано и выведено за пределы водной экосистемы без нарушения ее нормальной деятельности [1].

Наше исследование посвящено определению АЕ Цимлянского водохранилища (ЦВ), являющегося одним из крупнейших водохранилищ юга России. Площадь ЦВ составляет 2624 км², полная емкость при НПУ – 22,974 км³. ЦВ состоит из четырех участков, отличающихся друг от друга гидрологическими характеристиками: Верхнего (площадь 304 км²), Чирского (площадь 400 км²), Центрального (площадь 1040 км²) и Приплотинного (площадь 880 км²). Входной створ каждого после-

дующего участка является выходным для предыдущего. Нами установлены значения АЕ водохранилища и его участков к ряду загрязняющих веществ и рассмотрена устойчивость к изменению нагрузки соответствующих процессов самоочищения.

В статье использована гидрохимическая, гидрологическая и морфометрическая информация, предоставленная ФГУ «Управление водными ресурсами Цимлянского водохранилища». Гидрохимические данные включали временные ряды среднегодовых концентраций для 4 ингредиентов, в том числе марганца (2+), меди, нефтепродуктов и фосфатов во входном и выходном створах ЦВ и его участков за 2001-2009 гг. Первые 3 компонента вносят наибольший вклад в загрязнение воды ЦВ [7]. В гидрологическую информацию входили данные водных балансов ЦВ за тот же период, в морфометрическую – характеристики участков ЦВ. Для каждого из участков и для водохранилища в целом определяли значения АЕ, степень экологического неблагополучия, устойчивость аккумуляционных процессов к изменению нагрузки на экосистему.

Согласно [3] рекомендуется следующая последовательность определения АЕ к конкретным загрязняющим веществам: расчет балансов масс и времени жизни ЗВ в экосистеме; анализ биотического баланса в экосистеме; оценка критических концентраций воздействия ЗВ на функционирование биоты.

В работе [10] предложена упрощенная процедура оценки АЕ, основанная на определении конечного результата процессов, влияющих на динамику загрязнения водной экосистемы. Таким результатом для участка акватории произвольной площади являются изменения массы (ЗВ) в расположенном под ним столбе воды. При определении АЕ ЦВ и его участков был сделан ряд допущений, основанных на характеристиках водохранилища. *Первым допущением* является ограничение времени нахождения загрязняющих веществ в ЦВ одним годом. С одной стороны, этот период охватывает весь спектр основных условий, влияющих на уровень техногенного загрязнения поверхностных вод ЦВ и их способность к самоочищению. С другой стороны, среднесуточный коэффициент водообмена ЦВ близок к единице, т.е. объем воды, ограниченный площадью конкретного участка ЦВ, ежегодно полностью обновляется.

В ходе анализа водных балансов ЦВ за период 2000-2009 гг установлено, что в 2000-2006 годы среднесуточное значение поступления воды в ЦВ было равно объему водохранилища. Более 90% притока воды в ЦВ вносит сток р. Дон [8]. Сделано *второе допущение*, что ежегодная нагрузка на каждый участок формировалась объемами водных масс, численно равными годовому стоку р. Дон. В качестве *третьего допущения* использована гипотеза о фронтальном вытеснении водных масс с одного участка на другой, применяемая в расчетах коэффициентов водообмена [9]. При определении количества загрязняющих веществ, аккумулированного в течение года на территории участка, в качестве характеристик состава проходящих через него водных масс рассматривали среднесуточные концентрации ингредиентов на входном и выходном створах. Поскольку сток р. Дон приносит свыше 90% основных загрязняющих ингредиентов [8], то их поступление в воду ЦВ от источников, располагающихся на территории водохранилища, не учитывалось.

Определение критических концентраций предполагает проведение трудоемких полевых и лабораторных исследований, связанных с выявлением видов – мишеней [1]. Однако, при необходимости,

этим исследованиями можно пренебречь, приняв за допустимую нагрузку значение, рассчитываемое на основании предельно-допустимых концентраций ЗВ для рыбохозяйственных водоемов [10]. Установленная таким образом АЕ не будет учитывать индивидуальную реакцию данной экосистемы на загрязнение i -м веществом. Но она является характеристикой индивидуальной способности экосистемы к очищению поверхностных вод от данного вида загрязнения. АЕ, рассчитанную на основе совокупности сделанных допущений, будем называть *условной АЕ* или $AE_{усл}$. Ее оценка проводилась в несколько стадий. На первой стадии составлены массивы среднегодовых концентраций ингредиентов для входных и выходных створов каждого участка. На второй стадии рассчитывалась среднегодовая нагрузка L_{ij}^n (тн/год*км²) по формуле:

$$L_{ij}^n = 1000 \cdot \frac{C_{ij} \cdot V_j}{S^n},$$

где C_{ij} – среднегодовая концентрация i -го вещества в j -й год во входном створе n -го участка, мг/дм³, V_j – объем стока р. Дон в j -й год, км³, S^n – площадь n -го участка, км². На третьей стадии определяли скорости изменения нагрузки на n -м участке R_{ij}^n (тн/год*км²). по формуле:

$$R_{ij}^n = L_{ij}^{n+1} - L_{ij}^n,$$

где L_{ij}^{n+1} – нагрузка на территорию $n+1$ -участка, расположенного ниже по течению по сравнению с n -м участком. При загрязнении R_{ij}^n принимает положительные значения, при снижении нагрузки (самоочищении) – отрицательные. Для каждого участка из полученных отрицательных значений R_{ij}^n было выбрано максимальное значение (по модулю), соответствующее потенциалу самоочищения n -го участка P_{mi}^n . На четвертой, заключительной, стадии находили $AE_{усл}$ n -го участка к i -му веществу по формуле:

$$AE_{усл_i}^n = K_i^n \cdot P_{mi}^n,$$

где K_i^n – общий коэффициент запаса, равный отношению допустимой нагрузки $L_{ПДК_{ij}}^n$ на участок к максимальной $L_{max_i}^n$ [10]. Допустимая нагрузка $L_{ПДК_{ij}}^n$ рассчитывалась по формуле:

$$L_{ПДК_{ij}}^n = 1000 \cdot \frac{ПДК_i \cdot V_j}{S^n}.$$

Максимальная нагрузка соответствовала максимальному значению среднегодовой нагрузки для i -го вещества за рассматриваемый период (2001-2006 гг). $AE_{усл}$ (тн/км²*год) рассчитывалась как для

отдельных участков, так и для всего водохранилища. Определялась также масса ЗВ (M_i^n , тн/год), ассимилированная на рассматриваемых территориях:

$$M_i^n = AE_{усл_i} \cdot S^n.$$

Для диагностики экологического неблагополучия ЦВ с учетом $AE_{усл}$ использовали показатель $П_{ij}$, характеризующий степень отклонения нагрузки для i -го компонента в j -й год от $AE_{усл}$ и рассчитываемый по формуле:

$$П_{ij} = \frac{(C_{ij}^n - ПДК_{ПДК_i}) \cdot V_j}{M_i^n} - 1.$$

Состояние системы рассматривалось как благополучное, если $П_{ij} \leq -1$. При этом $C_{ij} \leq ПДК_i$, т.е. уровень загрязнения не превышает допустимый. При относительном благополучии $-1 \leq П_{ij} \leq 0$, исходный уровень загрязнения нивелируется с помощью процессов самоочищения до допустимого уровня. Состояние экосистемы с $П_{ij} > 0$ является экологически неблагополучным. Нагрузка на экосистему, превышающая ее самоочищающую способность, нарушает нормальное функционирование системы.

При оценке межгодовой устойчивости аккумуляционных процессов использовали коэффициент удержания R [5], равный отношению разности масс одного и того же вещества, поступившего в водоем за расчетный период и ушедшего из него со стоком, к массе поступившего вещества. Его рассчитывали по формуле:

$$R_i^n = \frac{\sum_{y=1}^m C_{iy}^{ex} \cdot V_y - \sum_{x=1}^k C_{ix}^{вых} V_x}{\sum_{y=1}^m C_{iy}^{ex}},$$

где C_{iy}^{ex} и $C_{ix}^{вых}$ – концентрации i -го ингредиента, соответственно, в учитываемых y -м входном и x -м выходном материальных потоках, мг/дм³; V_y и V_x – объемы входных и выходных потоков, млн м³ в год, m – количество учитываемых входных потоков (сток р. Дон, боковая приточность), k – количество учитываемых выходных потоков (сток через ГЭС, безвозвратный забор воды на хозяйственные нужды, потери с фильтрацией воды, расходы на шлюзование и переброску в другие бассейны). Если показатель удержания > 0 – происходит аккумуляция ингредиента в ЦВ, содержание его в воде уменьшается, и наоборот – отрицательные значения R_i свидетельствуют о загрязнении воды ЦВ при движении ее от верхнего створа к нижнему.

Для оценки устойчивости аккумуляционных процессов ЦВ (2001-2009 гг.) использовали относительные показатели, определяющие, как степень изменения параметра устойчивости соответствует степени изменения внешнего воздействия [4]. В качестве его характеристики (Φ) рассматривали валовые показатели поступления соответствующего ингредиента с речным стоком (тонн/год) во входном створе участка, в качестве параметра устойчивости – среднегодовой коэффициент R удержания этого ингредиента на рассматриваемом участке. Относительный показатель устойчивости, физический смысл которого соответствует тому, во сколько раз изменение параметра устойчивости отличается от изменения внешнего воздействия, рассчитывали по формуле:

$$V_{отн} = \frac{|(R_{j+1} - R_j) / R_j|}{|(\Phi_{j+1} - \Phi_j) / \Phi_j|},$$

где R_{j+1} и R_j – значения коэффициента удержания, соответственно, в рассматриваемый и предшествующий ему годы, Φ_{j+1} и Φ_j – значения валовых показателей поступления вещества на участок в те же годы. При $V_{отн} = 0$ аккумуляционный процесс устойчив, параметр устойчивости не меняется, каким бы ни было изменение нагрузки. Система проявляет способность переходить из одного состояния в другое, сохраняя внутренние связи. При $V_{отн} < 1$ – процесс относительно устойчив, существенное изменение нагрузки приводит к незначительному изменению параметра устойчивости. При $V_{отн} > 1$ внешнее возмущение вызывает гораздо большее изменение, процесс неустойчив.

На заключительном этапе исследования рассмотрена взаимосвязь устойчивости аккумуляционных процессов и степени экологического благополучия системы.

В таблице 1 приведены значения показателей $AE_{усл}$ участков ЦВ и всего водохранилища в целом. Для сравнения, AE экосистемы Балтийского моря к меди составляет 500-2500 т/год [2], AE акватории западного Каспия к нефтепродуктам варьирует в диапазоне 0,48-2,42 тн/км²*год [10], AE акватории порта Одесса к нефтепродуктам 32-155 тн/год [6]. От Верхнего участка ЦВ к Приплотинному отмечается уменьшение способности экосистемы к самоочищению от марганца, меди и нефтепродуктов.

На рис. 1 представлены усредненные за 2001-2009 гг. показатели экологического неблагополучия $П_i$ для участков ЦВ и всего водохранилища в целом. Экологическое неблагополучие экосистемы ЦВ сформировано по отношению к марганцу,

Ассимиляционные характеристики ЦВ

Ингредиент	$AE_{усл.}$				всего ЦВ тн/год
	отдельных участков ЦВ, тн/км ² *год				
	Верхний	Чирской	Центральный	Приплотинный	
марганец(2+)	0,25	1,10	0,24	0,00	767
медь	0,02	0,04	0,01	0,00	32
нефтепродукты	0,69	0,30	0,66	0,40	558
фосфаты	0	6,37	3,86	7,14	8637

Таблица 2

Характеристики аккумуляционных процессов на территории ЦВ

Ингредиент	Значения показателей удержания R_i по годам								
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
марганец	0,3	1,0	1,0	0,0	0,8	0,4	0,6	0,6	0,4
медь	0,4	0,3	- 3,7	отс	отс	- 0,5	0,3	0,4	0,2
нефтепродукты	- 0,5	0,9	- 0,2	- 1,0	- 2,5	0,4	0,5	0,1	0,4
фосфаты	0,6	0,8	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,1

Таблица 3

Показатели устойчивости аккумуляционных процессов

Ингредиент	Значения показателей устойчивости $U_{отн}$ по годам								
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
марганец	5,1	0,0	5,9	50,2	1,3	2,0	0,1	0,9	
медь	0,8	15,5	1,0	отс	отс	2,3	2,5	1,7	
нефтепродукты	4,7	5,2	15,4	2,5	0,2	0,6	5,4	3,9	
фосфаты	1,5	0,7	0,1	0,0	0,6	5,8	0,7	1,2	

меди и нефтепродуктам. В меньшей степени оно выражено в Центральном участке, в большей – в Приплотинной части ЦВ. Здесь, по сравнению с $AE_{усл.}$, установлено превышение нагрузки по марганцу более, чем в сто раз, по меди – почти в 15 раз, по нефтепродуктам – почти в 5 раз. Вместе с тем на территории ЦВ отмечается экологическое благополучие системы по отношению к фосфатам. На протяжении почти всего рассматриваемого периода для этого ингредиента наблюдалось выполнение соотношения $C_{ij} \leq ПДК_i$.

В таблице 2 приведены показатели удержания рассматриваемых ингредиентов для водохранилища в целом.

Из всех рассматриваемых ингредиентов только для фосфатов отмечается относительная межгодовая стабильность коэффициента удержания при выраженной тенденции к снижению их содержания в воде ($R > 0$). Уменьшение величины

$R_{фосфаты}$ в 2009 году может быть объяснено маловодностью этого года, степень обеспеченности которого составляла 86 %. Для остальных компонентов характерна значительная изменчивость значений R_i . В нижнем створе ЦВ, по сравнению с верхним, отмечен рост загрязнения воды соединениями меди – в 2003, 2006 годах; нефтепродуктами – в 2001, 2003-2005 годах. Результаты оценки устойчивости аккумуляционных процессов для всей территории ЦВ показаны в таблице 3.

Для каждого из компонентов отмечено резкое уменьшение устойчивости (рост $U_{отн}$) в течение 1 временного промежутка за весь рассматриваемый период. В случае марганца скачок устойчивости наблюдался в 2005 году, меди – в 2003, для нефтепродуктов – в 2004, фосфатов – в 2007 году. Поскольку хронологически колебания устойчивости не совпадали между собой, то можно сделать предположение об отсутствии общей причины

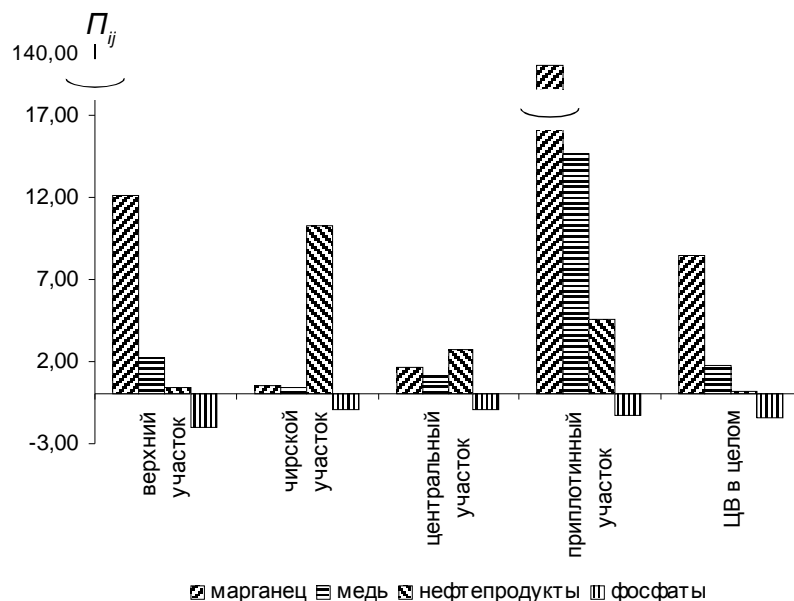


Рис. 1. Показатели экологического неблагополучия территории ЦВ

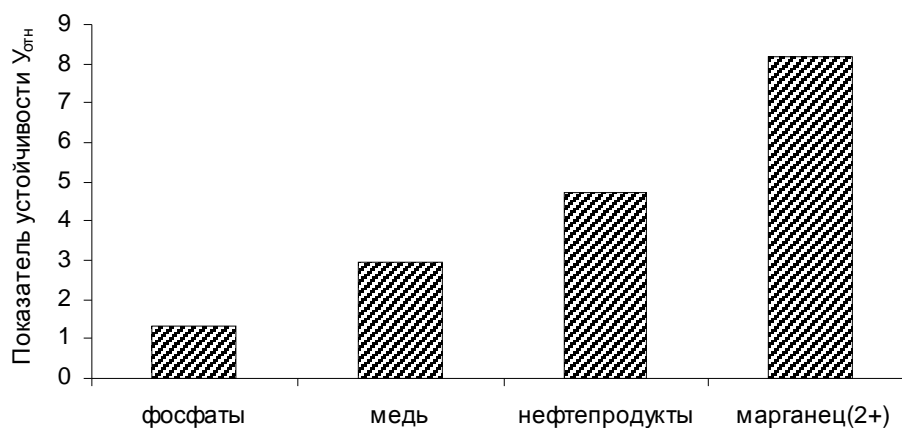


Рис. 2. Показатели устойчивости аккумуляционных процессов

данного явления. Из проведенного в ходе исследования анализа водно-химических балансов ЦВ за 2001-2009 годы следует, что изменение устойчивости было сопряжено с изменением нагрузки конкретного ингредиента на экосистему ЦВ. На рис. 2 приведены усредненные за 2002-2009 годы относительные показатели устойчивости аккумуляционных процессов на территории ЦВ.

Наибольшей устойчивостью обладают процессы аккумуляции фосфатов, наименьшей – марганца.

Проведено сопоставление среднесезонных (2001-2009 гг.) показателей устойчивости и показателей экологического неблагополучия территории ЦВ (рис. 3) для рассматриваемых ингредиентов.

Чем больше показатель P_i , т.е. чем больше фактическая нагрузка на экосистему превышает ее способность к самоочищению, тем неустойчивее

к внешнему воздействию ассимиляционные процессы (увеличивается показатель $U_{отн}$). Наиболее экологически благоприятная ситуация (с учетом рассматриваемых в данном исследовании ингредиентов) сложилась в ЦВ по отношению к фосфатам. Им же соответствует максимальная устойчивость процессов самоочищения. Напротив – экологическое неблагополучие, обусловленное высокой степенью загрязнения воды ЦВ марганцем, медью, нефтепродуктами, способствует снижению устойчивости ассимиляционных процессов и, в конечном счете – деградации экосистемы.

Итак, нами установлены значения $AE_{усл}$ Цимлянского водохранилища к марганцу – 767 тн/год, к меди – 32 тн в год, к нефтепродуктам – 558 тн/год, к фосфатам – 8637 тонн в год.

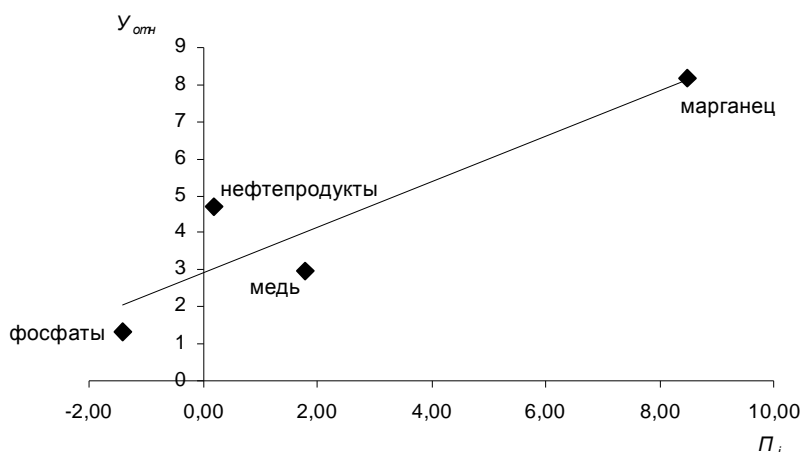


Рис. 3. Взаимосвязь показателей экологического неблагополучия и устойчивости

На всей территории ЦВ отмечается экологическое неблагополучие, заключающееся в превышении фактических нагрузок по марганцу, меди и нефтепродуктам соответствующих значений $AE_{усл}$. В меньшей степени это характерно для Центрального участка, в большей – для Приплотинной части ЦВ, где наблюдается превышение $AE_{усл}$ к марганцу более, чем в сто раз, к меди – почти в 15 раз, к нефтепродуктам – почти в 5 раз. Вместе с тем на всей территории ЦВ отмечается экологическое благополучие по отношению к фосфатам.

Оценка устойчивости процессов самоочищения воды к изменению нагрузки свидетельствует о том, что наибольшей устойчивостью обладают процессы аккумуляции фосфатов, наименьшей – аккумуляции марганца.

Установлена взаимосвязь между степенью экологического неблагополучия и устойчивостью процессов самоочищения. Чем значительнее превышение фактической нагрузки на экосистему над $AE_{усл}$, тем неустойчивее процессы, реализующие способность системы ассимилировать это загрязнение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Израэль Ю. А. Об ассимиляционной емкости Мирового океана / Ю. А. Израэль, А. В. Цыбань // Доклады АН СССР. – 1983. – Т. 272, № 3. – С. 702-704.
2. Научное обоснование экологического нормирования антропогенного воздействия на морскую экосистему (на примере Балтийского моря) / Ю. А. Израэль [и др.] // Океанология. – 1988. – Т. 28, вып. 2. – С. 64-71.

Шаврак Елена Игнатьевна

кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной экологии Волгодонского инженерно-технического института Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, т. 89185214183, E-mail: mephi2013@yandex.ru

3. Обобщенная модель ассимиляционной емкости морской экосистемы / Ю. А. Израэль [и др.] // Доклады АН СССР. – 1988. – Т. 272, №2. – С. 459-462.

4. Оценка состояния и устойчивости геосистем / В. В. Снакин [и др.]. – Москва : ВНИИ природы, 1992. – 127 с.

5. Разгулин С. М. Баланс биогенных элементов и ионов в Рыбинском водохранилище в 1980 г. / С. М. Разгулин, М. В. Гапеева, А. С. Литвинов // Труды Института биологии внутренних вод РАН. – Вып. 50 (53). – С. 81-91.

6. Совга Е. Е. Содержание нефтепродуктов в морской воде в акватории порта Одесса в 1997-2006 гг. / Е. Е. Совга, И. В. Мезенцева // Проблемы природопользования, устойчивого развития и техногенной безопасности регионов : Пятая Международная научно-практическая конференция. – Днепропетровск. – 2009. – Ч. 2. – С. 68-69.

7. Шаврак Е. И. Особенности изменения качества воды Цимлянского водохранилища / Е. И. Шаврак, Л. Н. Фесенко, И. А. Генераленко // Вода: химия и экология. – 2011. – № 5. – С. 11-18.

8. Шаврак Е. И. Химический баланс веществ в водной составляющей Цимлянского водохранилища / Е. И. Шаврак, Л. Н. Фесенко, И. А. Генераленко // Вода: химия и экология. – 2012. – № 4. – С. 3-8.

9. Штефан В. М. К расчету водообмена долинных водохранилищ / В. М. Штефан // Вестник Московского государственного ун-та. Сер. 5, География. – 1975. – № 5.

10. Экологическая оценка загрязнения западной части Северного Каспия нефтяными углеводородами. Атлас / Каспийский морской научно-исследовательский центр; отв. ред. С. К. Монахов. – Астрахань. – 2005. – 50 с.

SSHavrak Elena Ignat'yevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair of environmental engineering of Volgodonsk Engineering and Technology Institute of the National Research Nuclear University, Volgodonsk, tel. 89185214183, E-mail: mephi2013@yandex.ru