

УДК 004.053+504.45

doi:10.20998/2413-4295.2018.16.22

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ПРОЦЕССОВ ЗАИЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛОГИИ

Д. Д. ДУБОВИК*

Младший научный сотрудник, Институт технической механики и государственное космическое агентство НАН Украины, Днепр, УКРАИНА
*email: denic3d@gmail.com

АННОТАЦИЯ Методика оценки процесса заиления искусственных водохранилищ (аналогов) на основе известных характеристик заиления специально выбранного водоема–прототипа. Критериями выбора водоема–прототипа служит мера аналогии, рассчитанная на основе основных характеристик – морфологических, гидрологических, физико-химических и биологических сравниваемых водохранилищ. В основу методики в работе предлагается использовать наборы комплексных критериев различного уровня полноты, определяемых количеством частных критериев, входящих в комплексный критерий с соответствующими весовыми коэффициентами на основе максимального уровня аналогии, который определяется специальной мерой – коэффициентом несоответствия или обратным ему коэффициентом аналогии. Последний определяется как модуль отношения разности критериев аналогии сравниваемых водохранилищ к их среднему значению.

Выполнен сравнительный анализ значений критериев подобия водохранилищ – аналогов (водохранилищ каскада) и водохранилища – прототипа и сравнительный анализ значений критерия подобия всех сочетаний пар водохранилищ Днепровского каскада. На этой основе построена матрица отличий водохранилищ аналогов, которая позволяет оценить возможность применения метода подобия, используя в качестве аналога одно из водохранилищ каскада, если оно удовлетворяет требованиям аналогии.

Ключевые слова: критерий подобия; информационная модель; весовой коэффициент; матрица отличий; коэффициент аналогий; модель-прототип.

METHODICAL PECULIARITIES OF ESTIMATION OF PROCESSES OF SEIZATION OF ARTIFICIAL WATER RESERVOIRS BASED ON THE ANALOGY METHOD

D. DUBOVYK*

Junior Researcher, Institute of Technical Mechanics and State Space Agency of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, UKRAINE

ABSTRACT The similarity of artificial reservoirs (AR) is determined by the proximity of their parameters and characteristics. In this regard, the selection of the criteria for analogy is, in fact, the task of multicriteria comparative analysis, which dictates the need, on the one hand, to select the parameters of artificial reservoirs to a decisive degree, determining those characteristics of the reservoirs that reflect their studied properties and, accordingly, the synthesis of the criteria for analogy, providing a solution to the problem of choosing a reservoir-prototype for the analyzed reservoir-analogue. A methodology for estimating the process of siltation of artificial reservoirs (analogues) based on known silt characteristics of a specially selected prototype reservoir is developed. The criterion for choosing a reservoir prototype is a measure of analogy, calculated on the basis of the main characteristics - morphological, hydrological, physico-chemical and biological compared reservoirs. The method is based on the use of sets of complex criteria of various levels of completeness determined by the number of particular criteria included in the complex criterion with the corresponding weight coefficients on the basis of the maximum level of analogy, which is determined by a special measure - the coefficient of nonconformity or the inverse coefficient of analogy. The latter is defined as the ratio of the difference between the criteria for the analogy of the reservoirs being compared to their mean value. A comparative analysis of the values of similarity criteria for reservoirs - analogues (cascade reservoirs) and a reservoir - a prototype and a comparative analysis of the values of the similarity criterion for all combinations of pairs of reservoirs of the Dnieper cascade. On this basis, a matrix of differences in the reservoirs of analogues is constructed, which makes it possible to estimate the possibility of using the similarity method, using as an analogue one of the reservoirs of the cascade, if it satisfies the requirements of analogy.

Keywords: similarity criterion; information model; weight coefficient; matrix of differences; coefficient of analogies; prototype model

Введение

В природопользовании объекты исследования описываются сложными зависимостями природного и социально-экономического характера. В связи с этим при анализе экологических систем часто используют

логические методы, которые устанавливают связи между объектами. При системном анализе к числу логических относят методы индукции, дедукции, экспертных оценок и аналогии. При недостатке первичных данных, трудностях математической формализации используют метод экспертных оценок,

основанный на знаниях экспертов. В основе метода аналогий лежит положение о том, что закономерности развития одного процесса с определенными поправками можно перенести на другой процесс, для которого необходимо составить прогноз. Метод аналогий чаще всего применяют при разработке локальных прогнозов. Так, при прогнозировании экологического состояния водохранилища по ограниченной группе экологических показателей можно использовать данные прототипа для исследуемого или проектируемого водохранилища (аналога), которое находится в геосистеме близкой по характерным показателям к геосистеме аналога [1-7].

Подобие искусственных водохранилищ (ИВ) определяется близостью их параметров и характеристик. В связи с этим подбор критериев аналогии, по сути, является задачей многокритериального сравнительного анализа, что диктует необходимость, с одной стороны, выбора параметров искусственных водохранилищ в решающей степени, определяющих те характеристики водохранилищ, которые отражают их изучаемые свойства и, соответственно, синтеза критериев аналогии, обеспечивающих решение задачи выбора водоёма-прототипа для анализируемого водоема - аналога.

Моделью-прототипом может служить специально созданное гидротехническое сооружение, оборудованное таким образом, чтобы на входе формировались такие процессы, которые отражают процессы в водохранилище, которое нуждается в прогнозе тех или иных процессов, например, процессов заиления. Для выбора значений настраиваемых параметров должны использоваться специально разработанные критерии аналогии. В качестве таких критериев могут быть использованы различные относительные характеристики, которые являются ключевыми при исследовании конкретной локальной задачи, соответствующих процессов, протекающих в водохранилище в условиях конкретной геосистемы, включающей водоем, водосборный бассейн, климатические и другие географические условия [8-12].

Цель работы

Для моделирования процессов заиления искусственных водохранилищ (ИВ), создания информационной модели, необходима информация о текущем состоянии искусственного водохранилища, территории водосбора, а также их состояния за период эксплуатации водохранилища.

Оценка процессов заиления требует проведения большого объема различных расчетов: балансовых расчетов (энергии и вещества), характеризующих структуру природных комплексов меньшего ранга (аквасистем, зон, участков, биотопов); разработку моделей (гидравлических, гидрологических); оценки степени антропогенного

воздействия на водоем (внесение вещества в водоем); оценки динамики водоема.

Изложение основного материала

Важным этапом создания информационной модели прототипа является настройка и верификация модели. Проблемой является отсутствие достаточных объемов информации об экологическом состоянии ИВ, поэтому для выбора настраиваемых параметров и их весовых коэффициентов должна быть разработана соответствующая методика оценки степени аналогии или уровня подобия. В основу такой методики в работе предлагается использовать наборы комплексных критериев различного уровня полноты, определяемых количеством частных критериев, входящих в комплексный критерий с соответствующими весовыми коэффициентами. Эти весовые коэффициенты определяются путем выбора на основе максимального уровня аналогии. Уровень подобия определяется коэффициентом аналогии, который равен модулю отношения разности критериев аналогии сравниваемых водохранилищ к их среднему значению. Изменение уровня аналогии определяется разностью вычисленных комплексных критериев для обучающей пары условных (виртуальных) идентичных водохранилищ. Виртуальные идентичные водохранилища формируются на выбранном водохранилище путем фрагментации водохранилища на малые элементы поперечными сечениями. Таким образом, в качестве идентичных водохранилищ используются две эквивалентные части (ИВ1 и ИВ2) одного и того же водохранилища путем суммирования, соответственно, четных (ИВ1) и нечетных (ИВ2) дискретных элементов площади ИВ. На этой основе множества четных и нечетных элементов такой фрагментации, соответственно, относятся к двум условным идентичным водоемам, которые сравниваются по выбранным критериям. На основе предложенного подхода были выполнены сравнительные оценки заиления искусственных водохранилищ Днепроовского каскада В качестве искусственного водохранилища – прототипа использовался участок водохранилища реки Самара, от Игреньского моста до Приднепровского (Самарское водохранилище). Выбор данного участка основан на феноменологических оценках подобия морфометрических характеристиках Днепроовского искусственного водохранилища и Самарского водохранилища. Более точные оценки подобия выполняются на основе критериев аналогии ИВП и ИВА. Расчет первичных критериев аналогии (ИВП и ИВА) производится на основе разработанной информационной модели. Шесть водохранилищ Днепроовского каскада являются водохранилищами – аналогами.

Обсуждение результатов

Ниже приведен список первичных критериев (индексы обозначений упорядочены), обусловленный доступностью получения исходных данных по водохранилищам Днепровского каскада, для их расчета.

- K_{11} – показатель площади, отношение площади зеркала водоема к площади его водосбора,
- K_{12} – отношение годового объема поступающей воды к объему водохранилища в период НПУ,
- K_{13} – отношение малой оси к большой оси,
- K_{14} – коэффициент извилистости, отношение длины береговой линии к длине окружности круга, имеющего площадь, равную площади водоема,
- K_{15} – коэффициент емкости, отношение средней глубины к максимальной глубине,
- K_{21} – удельный водосбор, отношение площади водосбора к площади зеркала,
- K_{22} – лесистость, %;
- K_{23} – распаханность, %;
- K_{51} – мутность воды.

Результаты расчета первичных критериев приведены в таблице 1, в которой обозначено: ИВП – искусственное водохранилище - прототип (Самарское),

- A1 – Киевское водохранилище,
- A2 – Каневское водохранилище,
- A3 – Кременчугское водохранилище,
- A4 – Днепродзержинское водохранилище,
- A5 – Днепровское водохранилище,
- A6 – Каховское водохранилище.

Таблица 1 – Значения первичных критериев

Критерий	Самар-ское (ИВП)	Киевское (A1)	Каневское (A2)	Кременчуг-ское (A3)	Днепродзе-ржинское (A4)	Днепров-ское (A5)	Каховское (A6)
K11	12,73	259,0	354	169,8	765	1107	221
K12	0,44	12,82	18,39	3,54	19,51	14,49	2,61
K13	0,33	0,25	0,08	0,19	0,14	0,09	0,11
K14	1,30	1,97	1,72	3,12	2,02	2,61	3,51
K15	0,20	0,28	0,19	0,3	0,27	0,15	0,24
K22	0,22	0,29	0,23	0,12	0,1	0,12	0,14
K23	0,39	0,22	0,26	0,4	0,48	0,41	0,39
K51	1,8	0,45	0,55	0,47	0,68	0,58	0,49

Для формирования комплексных критериев определены весовые коэффициенты первичных критериев. В оценке весовых коэффициентов принимали участие пять экспертов-экологов (обозначены \mathcal{E}_i , $i = 1, 2, \dots, 5$). Результаты экспертного определения значений весовых коэффициентов приведены в таблице 3.

Таблица 2 – Нормированные первичные критерии

Критерий	Самарское (ИВП)	Киевское (A1)	Каневское (A2)	Кременчуг-ское (A3)	Днепродзе-ржинское (A4)	Днепров-ское (A5)	Каховское (A6)
K11	0	0,23	0,310	0,14	0,69	1	0,19
K12	0	0,650	0,94	0,16	1	0,74	0,11
K13	1	0,68	0	0,43	0,24	0,03	0,11
K14	0	0,29	0,19	0,82	0,33	0,59	1
K15	0,33	0,84	0,23	1	0,79	0	0,57
K22	0,62	1	0,68	0,09	0	0,11	0,21
K23	0,65	0	0,15	0,68	1	0,73	0,65
K51	1	0	0,07	0,02	0,17	0,1	0,03

Таблица 3 – Весовые коэффициенты первичных критериев

Критерии	\mathcal{E}_1	\mathcal{E}_2	\mathcal{E}_3	\mathcal{E}_4	\mathcal{E}_5	C_{ij}
K ₁₁	0,10	0,12	0,07	0,12	0,09	0,100
K ₁₂	0,15	0,12	0,18	0,18	0,15	0,156
K ₁₃	0,01	0,03	0,02	0,04	0,02	0,024
K ₁₄	0,03	0,06	0,04	0,05	0,03	0,042
K ₁₅	0,10	0,09	0,11	0,14	0,12	0,112
K ₁₆	0,04	0,07	0,06	0,05	0,08	0,060
K ₂₁	0,12	0,08	0,10	0,07	0,05	0,084
K ₂₂	0,03	0,04	0,05	0,03	0,06	0,042
K ₂₃	0,02	0,03	0,02	0,02	0,04	0,026
K ₃₁	0,05	0,04	0,02	0,04	0,01	0,032
K ₅₁	0,35	0,32	0,33	0,26	0,35	0,322

Расчет комплексных критериев.

На основе данных таблиц 1, 2 и 3 выполнены расчеты комплексных критериев аналогии искусственных водохранилищ прототипа и аналогов (Днепровский каскад водохранилищ) в соответствии с выражениями:

$$K_1 = 0,1K_{11} + 0,156K_{12} + 0,024K_{13} + 0,042K_{14} + 0,112K_{15} + 0,06K_{16}, \quad (1)$$

$$K_2 = 0,084K_{21} + 0,042K_{22} + 0,025K_{23} \quad (2)$$

$$K_3 = 0,032K_{31}, \quad (3)$$

$$K_5 = 0,322K_{51}, \quad (4)$$

$$K_{\text{сум}} = K_1 + K_2 + K_3 + K_5. \quad (5)$$

Результаты расчета представлены в таблице 4.

Значения $K_{\text{сум}}$ пронормированы по кластеру рассматриваемых для сравнения водохранилищ в соответствии с выражением:

$$Q_{ai} = K_{Ai} - K_{\min} / K_{\max} - K_{\min} \quad (6)$$

где $i = 1, 2, \dots, 6$, $K_{\Pi} = K_{A6}$.

Таблица 4 – Комплексные критерии аналогии

Комплексные критерии подобия	$K_{ИВП}$	K_{A1}	K_{A2}	K_{A3}	K_{A4}	K_{A5}	K_{A6}
K_1	0,061	0,246	0,212	0,197	0,333	0,240	0,145
K_2	0,126	0,045	0,035	0,026	0,025	0,027	0,025
K_3	0,322	0,000	0,024	0,005	0,055	0,041	0,010
K_5	0,509	0,291	0,271	0,228	0,413	0,308	0,180
$K_{сум}$	0,061	0,246	0,212	0,197	0,333	0,240	0,145

Оценка степени аналогии выполнена на основе определения меры отличия в соответствии с выражением:

$$Q_{oi}^0 = \frac{|K_n - K_a|}{K_n + K_a}, \quad 7)$$

Очевидно, что максимальное значение эта мера принимает, если в рассмотренном нормированном ряду значение критерия водохранилища-прототипа принимает одно из граничных значений 0 или 1. В этом случае максимально будет отличаться водохранилище – аналог, для которого значение критерия в нормированном ряду примет значения 1 или 0, соответственно.

Результаты для водохранилищ Днепроовского каскада представлены в таблице 5

Таблица 5 – Мера отличия критериев подобия водохранилищ прототипа и аналогов

П	A1	A2	A3	A4	A5	A6
$K_{оивп}$	K_{o1}	K_{o2}	K_{o3}	K_{o4}	K_{o5}	K_{o6}
0	1,000	0,337	0,275	0,707	0,144	0,389

В результате сравнения данных из таблицы 5 получим следующий иерархический ряд рассмотренных пар водохранилищ:

ИВП-А5, ИВП-А3, ИВП-А2, ИВП-А6, ИВП-А4 ИВП-А1.

В соответствии с этим иерархический ряд ИВ по уровню аналогии (несоответствия) представлен в следующей таблице 6.

Таблица 6 – Иерархический ряд водоемов аналогов по коэффициентам несоответствия и аналогии

Водоем	Значение	Уровень несоответствия	Уровень аналогии
A5	0,144	минимум	максимум
A3	0,275		
A2	0,337		
A6	0,389		
A4	0,707		

Проведя аналогичные расчеты для всех сочетаний пар водохранилищ- аналогов, получим следующую матрицу отличий:

Таблица 7 – Матрица попарных отличий водохранилищ аналогов

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	0,00	0,50	0,57	0,17	0,75	0,44
A2	0,50	0,00	0,10	0,35	0,40	0,07
A3	0,57	0,10	0,00	0,44	0,31	0,17
A4	0,17	0,35	0,44	0,00	0,66	0,29
A5	0,75	0,40	0,31	0,66	0,00	0,46
A6	0,44	0,07	0,17	0,29	0,46	0,00

Оценка уровня заиления выполнялась по трем методикам. Первая методика основана на использовании информационной модели водохранилища. Вторая методика основана на результатах оценки объема заиления, на базе экспериментальных данных о мутности воды в водохранилище-прототипе (сентябрь 2015 – сентябрь 2016 г.) а также лабораторного определения скорости осаждения взвешенных веществ в воде водохранилища. Третья методика основана на прямых измерениях объемов наилка, осевшего на дно Самарского водохранилища в период сентябрь 2015 – сентябрь 2016 г.

Результаты расчетов по трем методикам лежат в диапазоне 2,99 -3,5 см средней толщины годового слоя отложений. Объем W_n и масса M_n наилка , образованного в 2015-2016 г. в Самарском водохранилище при показателе плотности речного ила $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$ составил:

1. Методика 1
 $W_n = 2,05 \cdot 10^5 \text{ м}^3$, $M_n = 3,28 \cdot 10^5 \text{ т}$, $h = 3,34 \text{ см}$
2. Методика 2
 $W_n = 2,8 \cdot 10^5 \text{ м}^3$, $M_n = 4,48 \cdot 10^5 \text{ т}$, $h = 3,27 \text{ см}$
3. Методика 3
 $W_n = 2,4 \cdot 10^5 \text{ м}^3$, $M_n = 3,84 \cdot 10^5 \text{ т}$, $h = 4,26 \text{ см}$

Для валидации методики, сравнивались данные оценки годовых отложений (средняя толщина годового осадка) в Днепроовском ИВ с данными, полученными учеными ИППЭ НАН Украины. По их расчетам оценка среднего годового слоя отложений составила 2,7 см/год [12]. Для столь сложных объектов оценки, зависящих от большого числа факторов, оценки представляются достаточно близкими, что позволяет утвердительно судить об эффективности методик

Оценки заиления водохранилищ Днепроовского каскада в соответствии с предложенной методикой осуществляется по следующему алгоритму.

1. Формируется таблица исходных данных для пересчета оценок заиления (табл.8).

Таблица 8 – Исходные данные для пересчета оценок заиления

Параметры	ИВП	A1	A2	A3	A4	A5	A6
N	1	93,25	65	337,5	61,25	82,5	457,5
K _{Мп}	1	0,25	0,31	0,26	0,38	0,32	0,27
W*10 ³ , м ³	2,4	55,95	47,67	211,50	55,53	63,80	299,51
M*10 ³ , т	3,84	89,52	76,27	338,40	88,85	102,08	479,22

2. Определяется соотношение объемов воды в водохранилищах прототипа и аналогов:

$$n = W_A / W_{П.} \quad (8)$$

3. Производится расчет средних значений коэффициентов мутности водохранилищ

$$m_{Aic} = m_{12} + m_{A1...+}, m_{An}. \quad (9)$$

4. Вычисляется средний коэффициент относительной мутности водохранилища:

$$K_{Mi} = m_{Aic} / m_{П.} \quad (10)$$

Таблица 9 – Средние значения коэффициента относительной мутности

Параметры	ИВП	A1	A2	A3	A4	A5	A6
m _{Aic}	1,8	0,45	0,55	0,47	0,68	0,58	0,491

5. Определяются объемы и массы наилка в водохранилищах – аналогах:

$$W_{Ai} = n_i W_n K_{Mi}, \quad (11)$$

$$M_{Ai} = n_i M_n K_{Mi}, \quad (12)$$

Выводы

На основании предложенного метода аналогии рассчитаны значения критериев аналогии для водохранилищ Днепровского каскада, а также для водохранилища – прототипа (Самарского). Выполнен сравнительный анализ значений критериев аналогии водохранилищ – аналогов (водохранилищ каскада) и водохранилища – прототипа. Также выполнен сравнительный анализ значений критерия подобия всех сочетаний пар водохранилищ Днепровского каскада. На этой основе построена матрица отличий водохранилищ аналогов, которая позволяет оценить возможность применения метода подобия, используя

в качестве аналога одно из водохранилищ каскада, если оно удовлетворяет требованиям аналогии. Масса и объем выпадающего наилка для каскада Днепровских водохранилищ определялись с разной мерой достоверности, определяемой коэффициентом несоответствия.

Список литературы

1. Савичев, О. Г. Регулирование речного стока / О. Г. Савичев, С. Ю. Краснощёков, Н. Г. Наливайко // Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 114 с.
2. ESRI White paper ArcGIS 3D Analyst. 3D visualization, topographical analysis, surface construction. - 2002. - 14с.
3. Шапар, А. Г. Систематизация задач наукового забезпечення переводу території басейну р. Дніпро до сталого функціонування / А. Г. Шапар, О. О. Скрипник, С. М. Сметана // 36. наук. праць ІППЕ. Екологія і природокористування. – 2012. – вип. 15. – С. 12–23.
4. Shapar, A. Determination of bottom sediments intensity accumulation in samara gulf of dnier reservoirs using geographic information systems (GIS)» / Шапар А., Skrypnyk O., Taranenko O., Dubovik D. // Екологічна Безпека. – 2015. – № 1/2015 (19). – С. 33-36.
5. Дубовик, Д. Д. Приближенная методика оценки объема заиления водохранилища прототипа / Д. Д. Дубовик – Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – 2016. – вып. 18. – с. 164.
6. Carlson, R. E. A Trophic State Index for lakes / R. E. Carlson // Limnol. And Oceanography. – 1977. - 22(2). - P. 361-369. – doi: 10.4319/lo.1977.22.2.0361.
7. Kloiber, S. M. A procedure for regional lake water clarity assessment using Landsat multispectral data / S. M. Kloiber, P. L. Brezonik, L. G. Olmanson, M. E. Bauer // Remote Sensing of Environment. – 2002. - 82, N 1. – P. 38-47. – doi: 10.1016/S0034-4257(02)00022-6.
8. Brezonik, P. L. Landsat-based Remote Sensing of Lake Water Quality Characteristics, Including Chlorophyll and Colored Dissolved Organic Matter (CDOM) / P. L. Brezonik, K. D. Menken, M. E. Bauer // Lake and Reservoir Management. – 2005. – 21(4). – P. 373-382. – doi: 10.1080/07438140509354442.
9. Starodubtsev, V. M. Formation of delta landscapes in the upper Dnieper cascade reservoirs / V. M. Starodubtsev, V. A. Bohdanets, S. V. Yatsenko [et al.] // Electronic Journal "Scientific reports NUBiP of Ukraine". — 2010. — No 5 (21). URL: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2010_5/10svmdrc.pdf. – doi: 10.26641/2307-0404.2014.2.28460.
10. Shapar, O. O. Determination of actual ecological parameters of the Dnieper reservoirs using geoinformation technologies / A. G. Shapar, O. O. Skrypnyk, O. S. Taranenko, D. D. Dubovyk // Ecology and Environmental Sciences. — 2014 — Vol. 18. — P. 139—146.
11. Kress, H. Comparison of Preconstruction and 2003 Bathymetric and Topographic Surveys of Lake McConaughy, Nebraska / W. H. Kress, S. K. Sebree, G. R. Littin, M. A. Drain, M. E. Kling // Scientific Investigations Report, 2005-5040. Published by U.S. Department of the Interior and U.S. Geological Survey. — 2005. — 19 p. URL: <http://pubs.usgs.gov/sir/2005/5040/sir2005-5040.pdf>.

12. **Дубовик, Д. Д.** Экспериментальное определение донного рельефа на базе исследований нижнего участка р. Самара / **Д. Д. Дубовик, Ю.І. Борохович** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 98-103. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.16.
- Bibliography (transliterated)**
1. **Savichev, O. G., Krasnoshchëkov, S. YU., Nalivajko, N. G.** Regulirovanie rechnogo stoka. Izdatel'stvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2009, 114 s.
 2. ESRI White paper ArcGis 3D Analyst. 3D visualization, topographical analysis, surface construction, 2002, 14.
 3. **Sparar, A. G., Skripnik, O. O., Smetana, S. M.** Sistematizaciya zadach naukovogo zabezpechennya perevodu teritorii basejnu r. Dnipro do stalogo funkcionuvannya. *Zb. nauk. prac' IPPE "Ekologiya i prirodokoristuvannya"*, 2012, **15**, 12–23.
 4. **Shapar, A., Skrypnyk, O., Taranenko, O., Dubovik, D.** «Determination of bottom sediments intensity accumulation in samara gulf of dnierper reservoirs using geographic information systems (GIS)». *Ekologichna bezpeka*, 2015, **1/2015 (19)**, 33-36.
 5. **Dubovik, D. D.** Priblizhennaya metodika ocenki ob"ema zaileniya vodohranilishcha prototipa. *Vestnik Nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta «Har'kovskij politekhnicheskij institut*, 2016, **18**, 164.
 6. **Carlson, R. E.** A Trophic State Index for lakes. *Limnol. And Oceanography*, 1977, **22(2)**, 361-369. – doi: 10.4319/lo.1977.22.2.0361.
 7. **Kloiber, S. M., Brezonik, P. L., Olmanson, L. G., Bauer, M. E.** A procedure for regional lake water clarity assessment using Landsat multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 2002, **82**, 1, 38-47. – doi: 10.1016/S0034-4257(02)00022-6
 8. **Brezonik, P. L., Menken, K. D., Bauer, M. E.** Landsat-based Remote Sensing of Lake Water Quality Characteristics, Including Chlorophyll and Colored Dissolved Organic Matter (CDOM) *Lake and Reservoir Management*, 2005, **21(4)**, 373-382. – doi: 10.1080/07438140509354442.
 9. **Starodubtsev, V. M., Bohdanets, V. A., Yatsenko, S. V.** [et al.] Formation of delta landscapes in the upper Dnieper cascade reservoirs. *Electronic Journal "Scientific reports NUBiP of Ukraine"*, 2010, **5 (21)**. Available at: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2010_5/10svmdrc.pdf. – doi: 10.26641/2307-0404.2014.2.28460.
 10. **Shapar, O. O., Skrypnyk, O. O., Taranenko, O. S., Dubovyk, D. D.** Determination of actual ecological parameters of the Dnieper reservoirs using geoinformation technologies. *Ecology and Environmental Sciences*, 2014, **18**, 139-146.
 11. **Kress, H., Sebrer, S. K., Littin, G. R., Drain, M. A., Kling, M. E.** Comparison of Preconstruction and 2003 Bathymetric and Topographic Surveys of Lake McConaughy, Nebraska. *Scientific Investigations Report, 2005-5040. Published by U.S. Department of the Interior and U.S. Geological Survey*, 2005, 19 p. Available at: <http://pubs.usgs.gov/sir/2005/5040/sir2005-5040.pdf>.
 12. **Dubovyk, D., Borokhovych, Y.** Experimental determination of bottom relief on the basis of studies of the lower part of the river. Samara. Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32 (1254)**, 98–103 doi:10.20998/2413-4295.2017.32.16.

Сведения об авторах (About authors)

Дубовик Денис Дмитриевич – младший научный сотрудник, Институт технической механики и государственное космическое агентство НАН Украины, Днепр, Украина; e-mail: denic3d@gmail.com.

Denys Dubovyk – Junior Researcher, Institute of Technical Mechanics and State Space Agency of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine, e-mail: denic3d@gmail.com.

Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Дубовик, Д. Д. Методические особенности оценки процессов заиления искусственных водохранилищ на основе метода аналогии / **Д. Д. Дубовик** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 16 (1292). – С. 145-150. – doi:10.20998/2413-4295.2018.16.22.

Please cite this article as:

Dubovyk, D., Methodological features of the assessment of silting processes of artificial reservoirs based on the analogy method. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **16 (1292)**, 145-150, doi:10.20998/2413-4295.2018.16.22.

Будь ласка, посилайте на цю статтю наступним чином:

Дубовик, Д. Д. Методичні особливості оцінки процесів замулення штучних водосховищ на основі метода аналогії / **Д. Д. Дубовик** // *Вісник НТУ «ХПИ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 16 (1292). – С. 145-150. – doi:10.20998/2413-4295.2018.16.22.

АНОТАЦІЯ Методика оцінки процесу замулення штучних водосховищ (аналогів) на основі відомих характеристик замулення спеціально обраного водойми-прототипу. Критеріями вибору водойми-прототипу служить міра аналогії, розрахована на основі основних характеристик - морфологічних, гідрологічних, фізико-хімічних і біологічних порівнюваних водосховищ. В основу методики в роботі пропонується використовувати набори комплексних критеріїв різного рівня повноти, що визначаються кількістю приватних критеріїв, що входять в комплексний критерій з відповідними ваговими коефіцієнтами на основі максимального рівня аналогії, що визначається спеціальною мірою - коефіцієнтом невідповідності або зворотним йому коефіцієнтом аналогії. Останній визначається як модуль відносини різниці критеріїв аналогії порівнюваних водосховищ до їх середнього значення.

Ключові слова: критерій подібності; інформаційна модель; ваговий коефіцієнт; матриця відмінностей; коефіцієнт аналогії; модель-прототип.

Поступила (received) 05.05.2018