

УДК 543.3:574

**М.Р. Верголяс, Т.В. Луценко, И.А. Злацкий, В.В. Гончарук**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА АРТЕЗИАНСКИХ ВОД**

Институт коллоидной химии и химии воды  
им. А.В. Думанского НАН Украины, г. Киев  
vergolyas@meta.ua

*Проведен химический и биологический анализ артезианских вод. Получены данные о превышении ПДК некоторых химических элементов в воде. Определено качество воды на организменном и клеточном уровнях. Обнаружено, что все пробы воды имеют генотоксический эффект.*

**Ключевые слова:** артезианские воды, биотестирование, генотоксичность, качество воды, тест-объект, химический анализ, экологическая безопасность.

**Введение.** Артезианские воды являются одним из главных источников питьевой воды. Именно поэтому мониторинг за ее качеством является очень важным.

С помощью биотестирования можно получить интегральную токсикологическую оценку природных сред независимо от состава загрязняющих веществ, а с помощью цитогенетических методов – определить наличие потенциально опасных веществ, которые вызывают генетические мутации в организме [1, 2].

Одной из важных составляющих экологической безопасности Украины является качество питьевой воды, ведь обеспечение населения биологически полноценной питьевой водой – одна из наиболее важных задач сохранения здоровья человека [3 – 6].

В связи с глобальным загрязнением поверхностных вод централизованное водоснабжение все больше ориентируется на подземные воды. Но в условиях растущей техногенной нагрузки на окружающую среду подземные воды также подвергаются загрязнению.

Биотестирование предполагает выявление токсических веществ, которые загрязняют водные объекты по функциональным и другим

© М.Р. Верголяс, Т.В. Луценко, И.А. Злацкий, В.В. Гончарук, 2014

показателям отдельных особей гидробионтов. При использовании биотестирования для контроля качества природных вод ставится цель своевременного выявления источников опасного загрязнения, определения его интенсивности и оценки возможных экологических последствий [4].

Биотестирование – процедура определения токсичности среды с помощью тест-объектов, которые сигнализируют об опасности независимо от того, какие вещества и в каком соотношении вызывают изменения показателей жизненно важных функций у тест-объектов. Для оценки параметров среды используют стандартизированные реакции живых организмов (отдельных органов, тканей или клеток). В организме, который находится в течение контрольного времени в условиях загрязнения, возникают изменения физиологических, генетических, морфологических или иммунных систем [5, 6].

Цель данной работы – экологическая оценка качества артезианских вод Киевской области с помощью химического и биологического анализа.

**Методика эксперимента.** При исследовании использовали пробы артезианских вод Киевской области из с. Чайка (глубина 120 м), г. Бровары (глубина 160 м), пгт. Глеваха (глубина 110 м).

Проведен химический и биологический анализ этих вод. Химический анализ включал в себя определение органолептических, обобщенных и неорганических показателей. Эксперименты проводили в соответствии со стандартными методами [7]; полученные результаты сравнивали с нормативными документами – ГСанПиН 2.2.4-171-10 и Новым ГОСТом [8, 9]. Оценка качества воды с помощью биологического анализа учитывала организменный и клеточный уровни. Тестирование на уровне организма проводили на цериодафнии *Ceriodaphnia affinis Lilljeborg* [10, 11], рыбе *Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan [12] и ее эмбрионах [13]. При проведении биологического тестирования в исследуемую воду помещали тест-организмы и наблюдали за их реакцией. Полученные результаты сравнивали с контрольными. В качестве контроля использовали искусственную воду, которую готовили в лабораторных условиях [13]. Анализ на клеточном уровне проводили на эритроцитах рыб [6].

В качестве беспозвоночных биотестов использовали рачков цериодафний. Показателем токсичности являлась смертность организмов.

В каждый стакан с образцом воды поместили по 10 цериодафний, при этом регулярно вели наблюдение за их физиологическим состоянием и подсчитывали количество погибших особей.

При исследовании образцов воды с помощью эмбрионов рыб за ними наблюдали в течение 72 ч инкубирования при 26 °С. На разных стадиях развития выделяли несколько признаков, указывающих на гибель эмбриона. Так, коагуляция яйца свидетельствует о полной гибели, неотделение хвоста эмбриона в течение 24 ч также приводит к гибели эмбриона. Если к 48 ч не зафиксировано заметное сердцебиение или оно отсутствует, то эмбрион считается погибшим. Кроме того, следует обратить внимание на отсутствие пигментации к 48 ч развития, которое свидетельствует о недоразвитости эмбриона в результате воздействия на него токсиканта. Наблюдение проводили с помощью бинокулярного микроскопа.

В качестве позвоночных тест-организмов использовали аквариумных рыб *Brachydanio rerio*, экспозиция длилась 96 ч. Показателем токсичности на уровне организма являлась смертность рыб. В каждую пробу помещали по 10 рыб и наблюдали за их поведением и физиологическим состоянием.

Для определения генотоксичности воды готовили цитологические препараты из крови рыб *Brachydanio rerio*. Для этого брали кровь из хвостовой вены рыбы, наносили на предметное стекло и делали мазок. Затем его подсушивали, фиксировали 96 %-ным этиловым спиртом и окрашивали по методике Романовского-Гимза. Препараты анализировали под световым микроскопом с увеличением  $\times 1000$  при помощи микроядерного теста, в котором определяли количество клеток с микроядрами и двойными ядрами на 3000 клеток [6,14].

**Результаты и их обсуждение.** При изучении проб воды из с. Чайка и пгт. Глеваха выявлено, что в соответствии с требованиями ГСанПиН только железо превышает ПДК. Однако, согласно Новому ГОСТу, такие химические элементы, как алюминий, аммоний, марганец, медь, кремний, цинк вообще не должны присутствовать в воде. В исследуемой воде из г. Бровары не обнаружено химических элементов, которые превышали бы нормы ГСанПиН.

Как видно из данных табл. 1, во всех водах найдены вещества, которые не должны присутствовать в воде согласно требованиям Нового ГОСТа.

Таблица 1. Химический анализ исследуемых вод

Показатель	Результаты измерений образцов воды			Требования НД, не более		НД на метод измерений
	с. Чай-ка	пгт. Глеваха	г. Бровары	ГСанПиН 2.2.4-171-10	Новый ГОСТ	
	Органолептические показатели					
Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	0,3	<0,3	0,3	0,3	0,3	ГОСТ 3351
Цветность, град	5,0	5,0	4,0	10,0	5,0	ГОСТ 3351
Обобщенные показатели						
рН	6,95	7,16	7,4	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	[7]
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	450	440	340	1500	1000	ГОСТ 18164
Жесткость, мг-экв/дм <sup>3</sup>	6,5	4,1	4,5	10,0	7,0	ГОСТ 4151
Щелочность общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	6,2	6,5	5,7	Не опр.	6,5	[15]
Общий органический углерод, мг/дм <sup>3</sup>	1,4	1,2	0,51	3,0 (с 2015 г.)	1,5	EN 1484-2003
Неорганические показатели						
Алюминий, мг/дм <sup>3</sup>	<0,01	0,03	0,03	Не опр.	–	ГОСТ 18165
Аммоний, мг/дм <sup>3</sup>	0,45	0,78	0,42	2,6	–	ГОСТ 4192
Бикарбонаты, мг/дм <sup>3</sup>	356	390	347	400	400	[15]
Кальций, мг/дм <sup>3</sup>	73	96	68	Не опр.	100	[15]
Калий, мг/дм <sup>3</sup>	5	8,7	6	– (2–20)4*	200	ГОСТ 23268.7
Железо (общ.), мг/дм <sup>3</sup>	1,6	1,2	0,55	1,0	–	ГОСТ 4011
Магний, мг/дм <sup>3</sup>	20,4	12	13,4	Не опр.	30	[15]

Продолжение таблицы 1.

Марганец, мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,01	0,22	0,5	–	[16]
Медь, мг/дм <sup>3</sup>	0,001	0,002	0,05	Не опр.	–	[16]
Кремний, мг/дм <sup>3</sup>	15,1	12,4	10,3	Не опр.	–	[7]
Натрий, мг/дм <sup>3</sup>	17	30	25	Не опр.	200	ГОСТ 23268.6
Нитраты, мг/дм <sup>3</sup>	<0,5	<0,5	<0,5	10	5	ГОСТ 18826
Нитриты, мг/дм <sup>3</sup>	<0,02	<0,02	<0,02	3,3	0,02	ГОСТ 4192
Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	7,2	5,6	4	500	150	ГОСТ 4389
Фториды, мг/дм <sup>3</sup>	0,26	0,14	0,28	1,2	1,2	ГОСТ 4386
Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	<3	<3	<3	250	150	ГОСТ 4245
Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,08	0,25	Не опр.	–	[16]

\* Отсутствие, содержание меньше, чем нижняя граница определяемых концентраций.

Следует отметить, что большинство этих показателей вообще не предлагается определять в подземных водах по нормам для питьевой воды, которые описаны в Государственных санитарных нормах и правилах "Гигиенические требования к воде питьевой, предназначенной для употребления человеком" для воды из колодцев и каптажей источников [8].

Следующим этапом исследований являлось определение качества воды по результатам биологического тестирования с помощью цериодафнии *Ceriodaphnia affinis Lilljeborg* (рис. 1).

Из данных рис. 1 видно, что исследуемые образцы вод не проявили острую токсичность на тест-объекте цериодафнии. Однако во всех пробах по сравнению с контролем отмечена хроническая токсичность. В воде из г. Бровары погибло 10 % особей на четвертые сутки эксперимента, в с. Чайки – 10 % на третьи сутки. Наибольшую хроническую токсичность проявил образец воды из пгт. Глеваха – до 30 % погибших особей на завершающей стадии эксперимента.

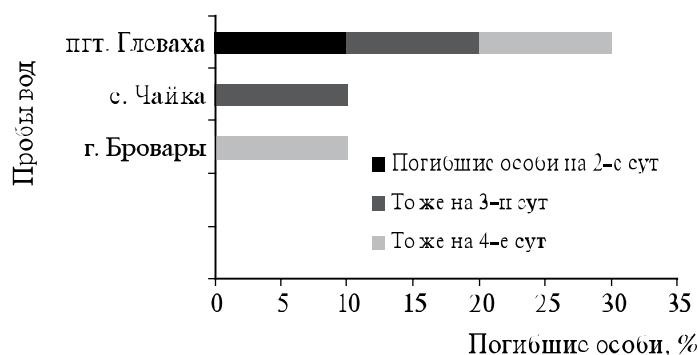


Рис. 1. Токсичность исследуемых вод на цериодафнии.

Далее проводили исследования на эмбрионах рыб. На рис. 2 показана динамика выживаемости эмбрионов *Brachydanio rerio* в образцах воды по сравнению с контролем.

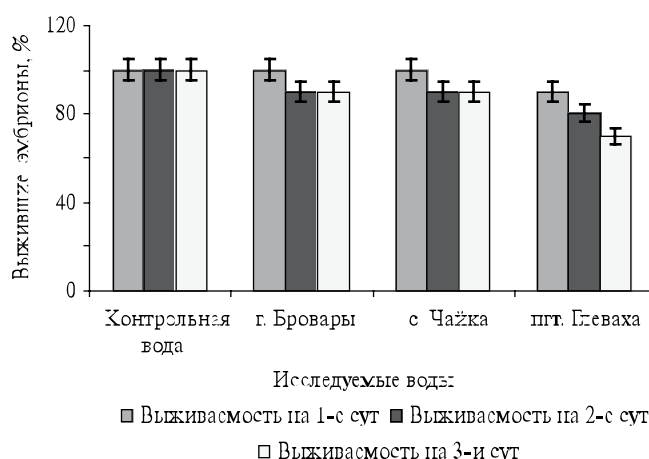


Рис. 2. Выживаемость эмбрионов рыб в пробах воды.

При этом обнаружена хроническая токсичность всех исследуемых вод по сравнению с контролем. В первые сутки эксперимента только в воде из пгт. Глеваха 10 % эмбрионов погибли, на вторые сутки погибло по 10 % эмбрионов в водах из г. Бровары и с. Чайка, а также 20 % – в воде из пгт. Глеваха, на третьи сутки показатели выживаемости в первых двух водах остались на прежнем уровне и составили по 10 % погибших особей, а в воде из пгт. Глеваха этот показатель составил 30 %. То есть наибольшая хроническая токсичность обнаружена в воде из пгт. Глеваха.

При исследовании воды с помощью биологического тест-организма рыбы обнаружено, что пробы воды из г. Бровары, с. Чайка не проявили токсичности. В образце воды из пгт. Глеваха на вторые сутки погибло 10 % рыб, а на третьи сутки – 20 %. Таким образом, образец воды из пгт. Глеваха проявил хроническую токсичность.

При анализе препаратов из крови рыб обнаружены аномальные ядра в эритроцитах, поэтому необходимо было определить генотоксичность воды (табл. 2).

Таблица 2. Генотоксичность исследуемой воды

Вода	Генотоксические показатели, ‰	
	микроядра	двойные ядра
Контрольная	0	0
с. Чайка	0	0,66
г. Бровары	0,33	0,66
пгт. Глеваха	1,66	2,66

Из данной таблицы видно, что по сравнению с контролем во всех исследуемых водах существуют отклонения в клетках эритроцитов. Так, в воде из г. Бровары встречались двойные ядра и микроядра, а в воде из с. Чайка – только двойные ядра. Наибольшее количество отклонений наблюдалось в образце воды из пгт. Глеваха. При определении критерия генотоксичности оказалось, что во всех исследуемых водах зафиксирована генотоксичность.

Исходя из проведенных экспериментов, можно отметить, что чем больше химических элементов превышают ПДК по требованиям нормативных документов, тем более токсичной является вода для тест-объектов. То есть существует прямая зависимость между составом воды и ее генотоксичностью.

**Выводы.** Проведен анализ артезианских вод. Определены их органолептические свойства и химический состав. Найдены элементы, содержание которых превышает нормативные значения ПДК.

С помощью биологического тестирования получены данные по токсичности исследуемых вод. Все образцы вод проявили хроническую токсичность по отношению к периодафниям и эмбрионам рыб, а хроническую токсичность на рыбах проявила вода из пгт. Глеваха. Полученные данные по цитологическим препаратам крови рыб показали,

что образцы подземных вод генотоксичны. Поэтому исследуемую воду нельзя употреблять без предварительной очистки.

В соответствии с требованиями ГСанПиН качество подземных вод Киевской области находится в пределах норм по химическому составу (кроме железа). Однако, согласно Новому ГОСТу, несколько химических элементов, которые были определены в исследуемых образцах воды, не должны присутствовать в воде. Поэтому указанные воды небезопасны для употребления человеком. Это свидетельствует о том, что ГСанПиН не является тем документом, который гарантирует качество питьевой воды.

**Резюме.** Проведено хімічний та біологічний аналіз артезіанських вод. Отримані дані щодо перевищення ГДК деяких хімічних елементів у воді. Визначено якість води на рівні організму та на клітинному рівні. Виявлено, що всі зразки води мають генотоксичний ефект.

*M.R. Vergolyas, T.V. Lutsenko, I.A. Zlatskiy, V.V. Goncharuk*

## DETERMINING THE QUALITY OF ARTESIAN WATER

### Summary

The chemical and biological analyzes of artesian water were conducted. The data which characterized exceeding the MPC of some chemical elements in the water was obtained. The water quality at the level of the organism and at the cellular level was determined. Obtained results show that all water samples have genotoxic effects.

### Список литературы

- [1] *Arhipchuk V.V., Goncharuk V.V. // J. Water Chem. and Technol. – 2001. – 23, N5. – P. 48 – 54.*
- [2] *Tsangaris C., Vergolyas M., Fountoulaki E., Goncharuk V. // Ecotoxicol. and Environ. Safety.– 2011. – 74. – P. 2240 – 2244.*
- [3] *Єфремова О.О. // Державна екологічна академія післядипломної освіти і управління Мінприроди України. – К., 2009. – 22 с.*
- [4] *Мисейко Г.Н., Безматерных Д.М., Тушкова Г.И. Биологический анализ качества пресных вод. – Барнаул: Изд-во АГУ, 2001. – 201 с.*



- [5] Мелехова О.П., Егорова Е.И., Евсеева Т.И. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. – М.: Изд. центр "Академия", 2007. – 288 с.
- [6] ДСТУ 7387. Якість води. Метод визначення цито- та генотоксичності води і водних розчинів на клітинах крові прісноводної риби *Danio rerio* (*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan). – Київ, 2013.
- [7] Унифицированные методы исследования качества вод / Под ред. П. Гофманн. – М.: Изд-во СЭВ, 1987. – 1244 с.
- [8] Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною". – Затверд. наказом Мін.-ва охорони здоров'я України від 12.05.2010, № 400.
- [9] Goncharuk V.V. // J. Water Chem. and Technol. – 2010. – 32, N5. – P. 255 – 283.
- [10] ДСТУ 4173-2003. Якість води. Визначання гострої летальної токсичності на *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (*Cladocera, Crustacea*) (ISO 6341:1996, MOD). – Введ. 01.07.2004.
- [11] ДСТУ 4174-2003. Якість води. Визначання хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (*Cladocera, Crustacea*) (ISO 10706:2000, MOD). – Введ. 01.07.2004.
- [12] ДСТУ 4074-2001. Якість води. Визначання гострої летальної токсичності хімічних речовин та води на прісноводній рибі [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (*Teleostei, Cyprinidae*)]. Ч. 1. Статичний метод (ISO 7346-1:1996, MOD). – Введ. 01.07.2003.
- [13] ISO 12890:1999. Water quality – Determination of toxicity to embryos and larvae of freshwater fish - Semi-static method. – Введ. 15.12.1999.
- [14] Пат. 85493 Україна, МПК G 01 № 33/18 // В.В. Гончарук, І.В. Болтіна, М.Р. Верголяс. – Опубл. 26.01.2009, Бюл. №2.
- [15] Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н. Методы исследования качества воды водоемов. – М.: Медицина, 1990. – 400 с.
- [16] РД 52.24.377-95. Методические указания, методика выполнения измерений массовой концентрации металлов (Al, Ag, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, V, Zn) в поверхностных водах суши методом атомной абсорбции с прямой электротермической атомизацией проб. – Введ. 17.04.1995.

Поступила в редакцию 24.04.2014 г.