

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ



УДК 628.16.081:535.537

DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.7

**В. И. КИЧИГИН
Н. А. ГАЗИЗОВ
А. Р. САЛИХОВА**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ИОННОГО СОСТАВА ВОДЫ НА ВЕЛИЧИНЫ ЕЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА И ДЗЕТА-ПОТЕНЦИАЛА

STUDY OF THE EFFECT OF CHANGES IN IONIC WATER COMPOSITION ON THE VALUE OF ITS REDOX POTENTIAL AND ZETA-POTENTIAL

Установлена зависимость дзета-потенциала от величины окислительно-восстановительного потенциала и ионного состава воды. Определен физико-химический состав изучаемой воды, сделан анализ полученных результатов. В ходе исследований дополнительно определялись показатели: pH, температура, мутность и щелочность для получения полной картины качества воды. Было установлено соответствие всех изучаемых показателей воды нормам СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения». Приведены математические зависимости между дзета-потенциалом, жесткостью, содержанием анионов и катионов в исследуемой воде с достоверностью аппроксимации R^2 не ниже 0,83.

Ключевые слова: дзета-потенциал, концентрация соли, окислительно-восстановительный потенциал, качество воды

The dependence of ZP on the magnitude of the redox potential and the ionic composition of water has been established. The physico-chemical composition of the studied water was determined, the analysis of the obtained results was made. During the studies, indicators such as pH, temperature, turbidity and alkalinity were additionally determined to obtain a complete picture of water quality. All studied water indicators meet the standards of SanPiN 2.1.4.1074-01 "Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control: Sanitary rules and regulations. Mathematical dependences between the ζ -potential, rigidity, and the content of anions and cations in the water under study with an accuracy of approximation R^2 not lower than 0.83 are given.

Keywords: Zeta potential, salt concentration, redox potential, water quality

Целью данной работы являлось установление степени зависимости электрокинетического потенциала (дзета-потенциала, ДП) от ионного состава воды и ее окислительно-восстановительного потенциала (ОВП). Для достижения поставленных целей потребовалось решить следующие задачи: отбор проб водопроводной воды из одной точки сети г. Самары; определение физико-химического состава изучаемой воды и ее дзета-потенциала; обработка и анализ полученных результатов.

В ходе опытов была использована натуральная пищевая морская соль компании «Droga Kolinska», произведенная в Словении из вод Адриатического моря естественным спосо-

бом – выпариванием морской воды на солнце. Соль имела следующий физико-химический состав: NaCl (97,9 % – 99,4 %), Mg^{2+} (max 0,19 %), Ca^{2+} (max 0,2 %), SO_4^{2-} (max 0,5 %), H_2O (max 1 %). Для взвешивания вводимой в воду соли были использованы лабораторные весы SHINKO VIBRA HTR-220CE с точностью 0,0001 г.

Определение величины дзета-потенциала в пробах исследуемой воды проводилось на установке, созданной на кафедре водоснабжения и водоотведения СамГТУ (рис. 1) по методике, изложенной в работе [1]. Измерения производились на основе амперометрического метода определения электрокинетической подвижности [2]. Величина дзета-потенциала

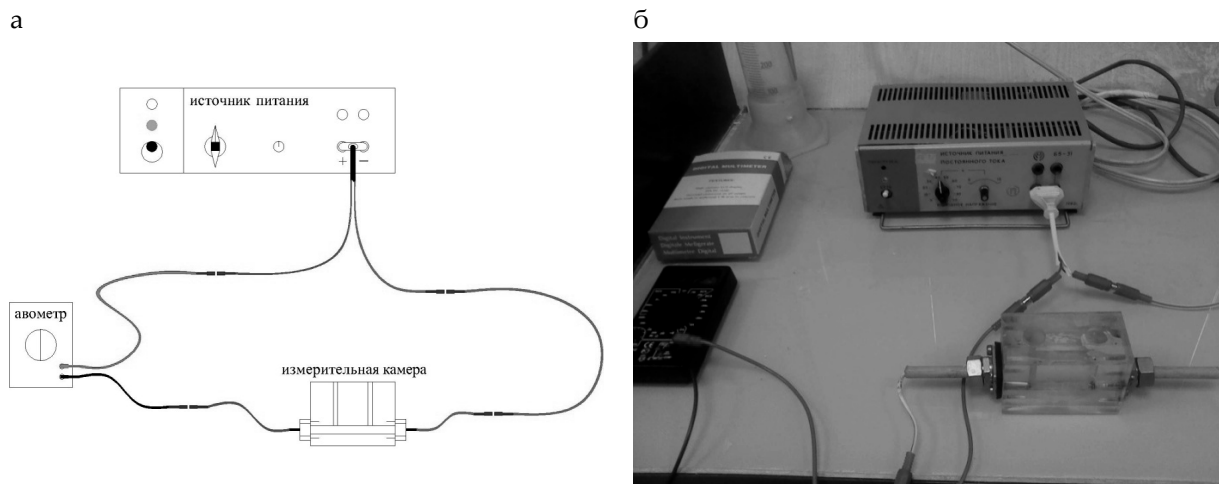


Рис. 1. Схема (а) и общий вид устройства (б) для измерения величины дзета-потенциала

определялась по пяти пробам воды с помощью уравнения Гельмгольца-Смолуховского [3]. После подключения установки к источнику постоянного тока в камеру заливался дистиллят для проверки правильности показаний приборов, включался тумблер и на авометре высвечивалось контрольное значение (должно быть в пределах $0,0 \div 0,1$ А). После проверки на дистилляте в ячейку заливался исследуемый раствор.

Для измерения значений окислительно-восстановительного потенциала чистых проб и соляных растворов был использован прибор ОВП-метр 2069 фирмы «Kelilong», имеющий диапазон работы ± 1999 мВ при $0-50$ °С и погрешность ± 5 мВ. Кроме основных показателей, для получения более полной картины качества исследуемой воды были собраны органолептические, обобщенные и показания вредных веществ в соответствии с правилами (ГОСТ 3351-74 «Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности»). Полученные результаты сравнивались с нормами ПДК (СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения»).

Для определения мутности воды использовались колориметры фотоэлектрические концентрационные КФК-2МП. Определение значения щелочности проводилось по методике, изложенной в ГОСТ 31957-2012 «Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов»; концентрации хлорид-ионов – по методике, описанной в ГОСТ 4245-72 «Вода питьевая. Методы определения хлоридов»; концентрации общей жесткости – по методике, описанной в ГОСТ 31954-2012 «Вода питьевая. Методы определения жесткости»; содержания ионов кальция – по методике, описанной в ГОСТ 23268.5-78

«Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов кальция и магния».

Расчет величины дзета-потенциала проводился по пяти пробам при уровне значимости $q = 0,05$ по методикам, изложенным в работе [4]. Порядок опытов рандомизировался с помощью таблицы случайных чисел. Было проведено две серии опытов – «основная» (с 09.02 по 05.07.2018 г.) и «контрольная» (с 18.02 по 26.02.2019 г.). Полученные результаты приведены в табл. 1 и 2 и на рис. 2–9 (первая серия опытов) и в табл. 3 и 4 и на рис. 10–14 (вторая серия опытов).

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показал соответствие всех изучаемых показателей воды нормам СанПиН 2.1.4.1074-01. Кроме того, было выявлено, что в период с 09.02 по 05.07.2018 г. при температуре $24-26$ °С величина дзета-потенциала изменялась в пределах от 291,7 до 416,9 мВ.

Из рис. 2–4 можно сделать вывод об устойчивой связи между значениями дзета-потенциала, общей жесткостью воды, концентрацией катионов Mg^{2+} и Ca^{2+} в исследуемой воде. Величина достоверности аппроксимации составляла 0,8338, 0,9091 и 0,8994 соответственно. Причем с увеличением общей жесткости исследуемой воды и содержания в ней ионов Ca^{2+} росло и значение дзета-потенциала (см. рис. 2 и 4), а при увеличении содержания ионов Mg^{2+} величина дзета-потенциала падала (см. рис. 3).

Анализ данных табл. 2 и рис. 5–8 выявил тенденцию к уменьшению величины дзета-потенциала как при увеличении концентрации NaCl, так и при увеличении катионов Na^+ и анионов Cl^- . Возможно, это объясняется приближением к порогу растворимости и повышением вероятности выпадения хлористого натрия в осадок. А кривая зависимости дзе-

та-потенциала от ОВП воды на рис. 9 выражается уравнением $y = 0,0606x^2 - 23,594x + 2402,4$ и устанавливает высокую связь между показателями, с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,9742$.

Результаты «контрольной» серии исследований, проведенных на подобной исходной воде, но в период с 18.02 по 26.02. 2019 г. приведены в табл. 3–4 и на рис. 10–14. Была установлена большая сходимость одноименных зависимостей. Так, сравнительный попарный анализ

данных табл. 1 и 3; 2 и 4 подтвердил тенденцию к уменьшению величины дзета-потенциала как при увеличении концентрации соли, так и при увеличении катионов Na^+ и анионов Cl^- . Кривая зависимости ДП от ОВП воды на рис. 14 выражается уравнением $y = 0,056x^2 - 22,56x + 2400$ при $R^2 = 0,982$, а аналогичная зависимость на рис. 9 – уравнением $y = 0,0606x^2 - 23,594x + 2402,4$ при $R^2 = 0,9742$. Высокая сходимость полученных результатов была и при попарном сравнении данных, приведённых на рис. 5 и 10; 6 и 11; 7 и 12; 8 и 14.

Таблица 1

Значения показателей водопроводной воды

Дата отбора проб (2018 г.)	ДП, мВ	t, °C	Мутность, мг/дм ³	Щелочность, ммоль/дм ³	Жесткость, мг /дм ³		
					по Ca^{2+}	по Mg^{2+}	общая
09.02	308,4	25	1,44	2,3	2,2	1,7	3,9
20.02	291,7	24	1,36	2,0	1,9	1,8	3,7
27.02	390,4	23	1,36	2,5	2,8	1,4	4,2
28.02	301,4	24	1,52	2,1	2,2	1,7	3,9
06.03	386,8	24	1,21	2,4	2,7	1,5	4,2
07.03	375,4	24	1,29	2,4	2,9	1,4	4,3
13.04	310,4	26	1,52	2,3	2,4	1,6	4,0
19.04	308,7	25	1,44	2,3	2,2	1,7	3,9
26.04	304,3	24	1,52	2,2	2,2	1,8	4,0
03.05	315,6	24	1,44	2,4	2,3	1,6	3,9
25.06	394,2	24	1,44	2,5	3,0	1,2	4,2
26.06	416,9	24	1,52	2,8	3,1	1,2	4,3
27.06	392,8	25	1,44	2,5	3,4	1,3	4,7
28.06	382,9	25	1,44	2,4	3,2	1,3	4,5
02.07	407,6	26	1,44	2,6	3,5	1,1	4,6
03.07	391,2	26	1,52	2,5	3,7	1,3	5,0
05.07	416,	26	1,36	2,8	3,3	1,2	4,5

Таблица 2

Исследование зависимости дзета-потенциала от электрохимических показателей растворов

Концентрация, мг/дм ³	ДП, мВ	рН	Температура, С°	ОВП, мВ	Общее солесодержание		Концентрация ионов, мг/дм ³	
					ppm	мг-экв/дм ³	Cl^-	Na^+
0	358,5	7,5	25	132	206	4,11	0,0	0,0
100	256,4	7,4	25	143	285	5,69	60,7	39,3
200	205,3	7,4	25	150	374	7,46	121,4	78,6
300	174,0	7,3	25	160	457	9,12	182,1	117,9
400	143,2	7,3	25	171	544	10,88	242,8	157,2
500	126,1	7,3	25	186	632	12,63	303,5	196,5
600	111,9	7,2	25	195	721	14,40	364,2	235,8
700	101,0	7,2	25	207	819	16,36	424,9	275,1

Таблица 3

Значения показателей в исследуемой воде

Дата отбора проб (2019 г.)	ДП, мВ	t, °C	M, мг/дм ³	Щ, ммоль/дм ³	Жесткость, мг-экв/дм ³		
					по Ca ²⁺	по Mg ²⁺	общая
18.02	423,5	19	0,91	2,5	3,4	1,1	4,5
21.02	407,2	22	0,91	2,3	3,3	1,2	4,5
25.02	405,5	20	0,76	2,4	3,4	1,0	4,4
26.02	419,2	20	0,76	2,4	3,2	1,1	4,3

Таблица 4

Исследование зависимости величины дзета-потенциала от электрохимических показателей растворов

Концентрация NaCl, мг/дм ³	ДП, мВ	pH	Температура, С°	ОВП, мВ	Общее солесодержание		Концентрация ионов, мг/дм ³	
					ppm	мг-экв/дм ³	Cl ⁻	Na ⁺
100	292,6	7,5	20	148	273	5,45	60,7	39,3
200	251,1	7,5	20	156	350	6,98	121,4	78,6
300	219,3	7,5	20	165	454	9,07	182,1	117,9
400	192,5	7,5	20	168	512	10,22	242,8	157,2
500	180,4	7,5	20	171	587	11,73	303,5	196,5
600	168,5	7,5	20	181	673	13,44	364,2	235,8
700	144,3	7,5	20	187	761	15,20	424,9	275,1

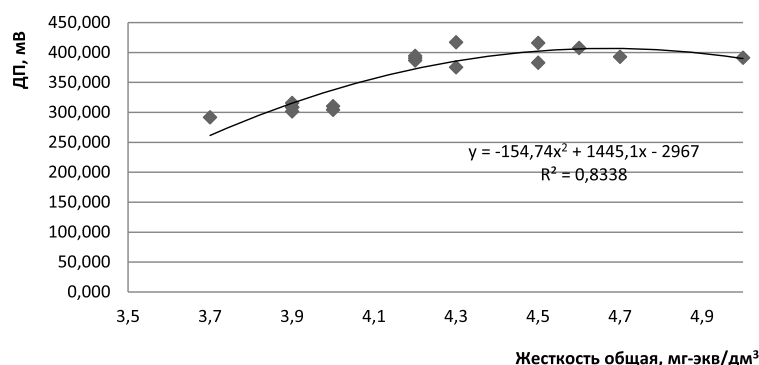
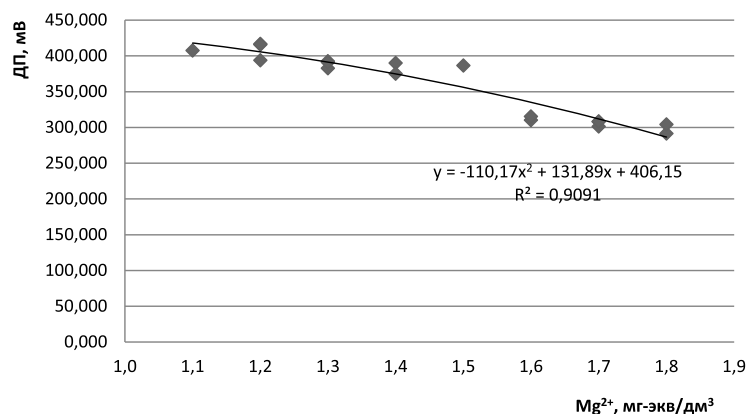


Рис. 2. Зависимость значений дзета-потенциала от общей жесткости воды

Рис. 3. Зависимость значений дзета-потенциала от содержания ионов Mg²⁺ в воде

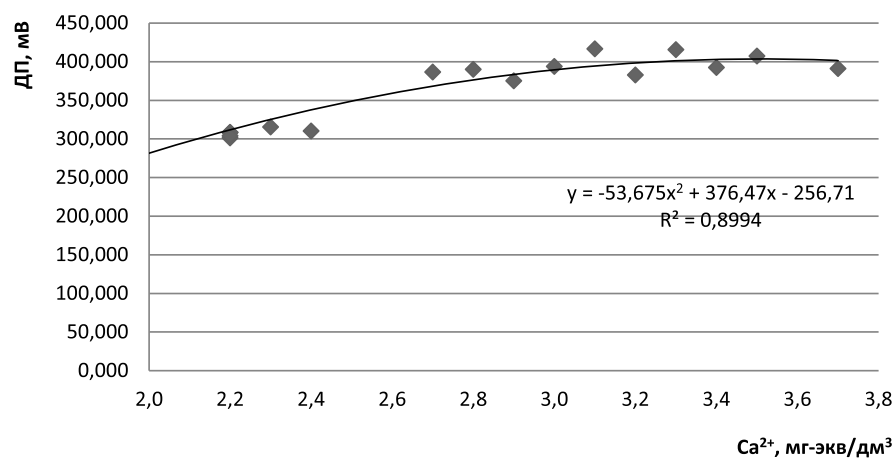


Рис. 4. Зависимость значений дзета-потенциала от содержания ионов Ca²⁺ в воде

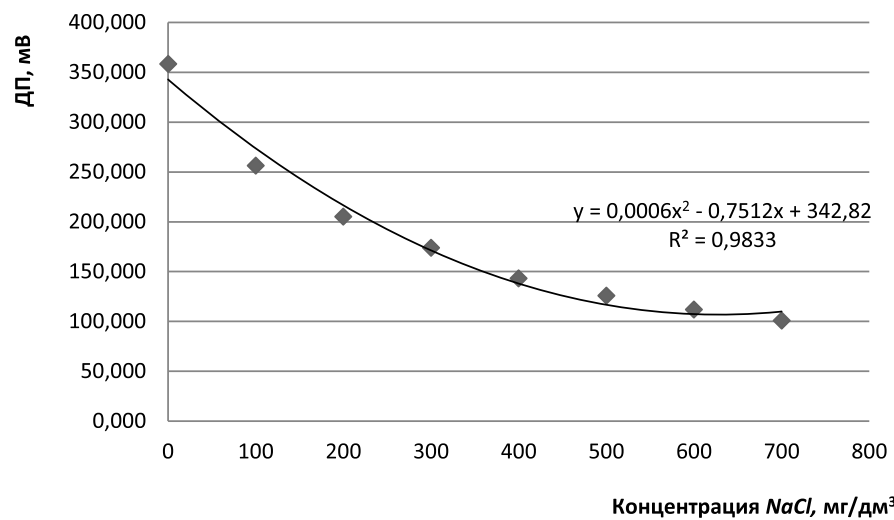


Рис. 5. Зависимость значений дзета-потенциала от концентрации соли

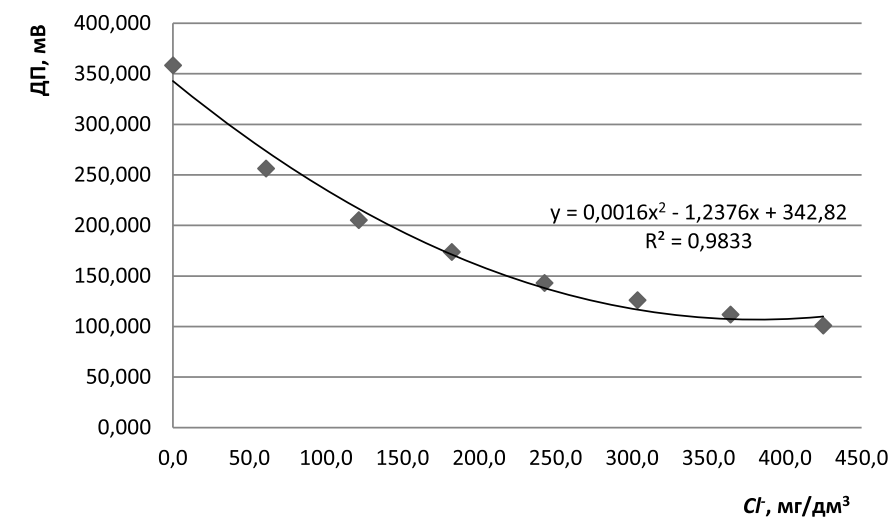


Рис. 6. Зависимость значений дзета-потенциала от содержания ионов Cl⁻ в воде

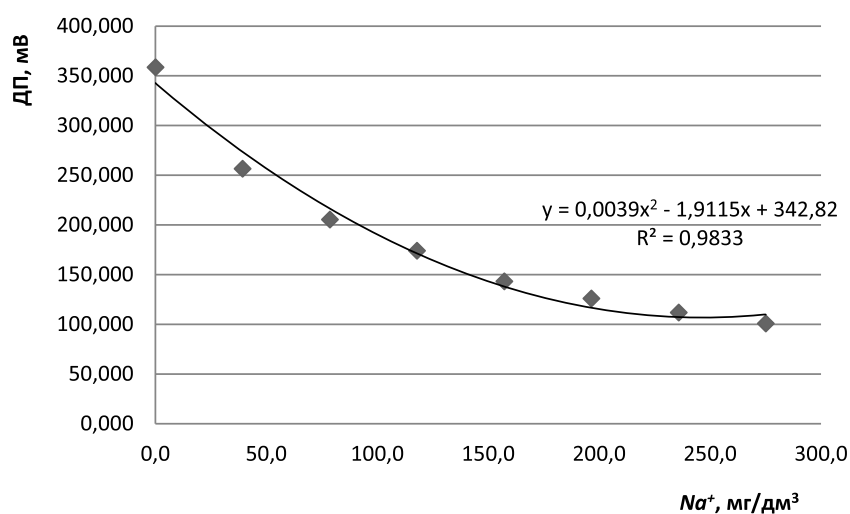
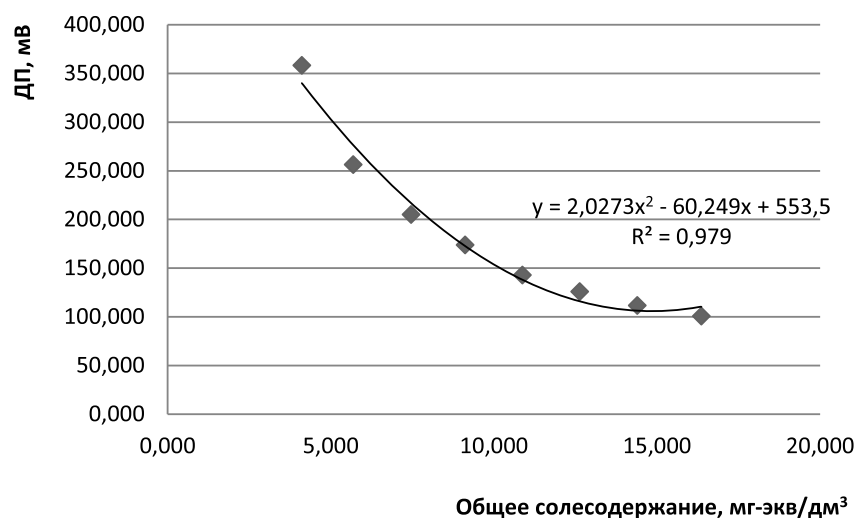
Рис. 7. Зависимость значений дзета-потенциала от содержания ионов Na^+ в воде

Рис. 8. Зависимость значений дзета-потенциала от общего солесодержания воды

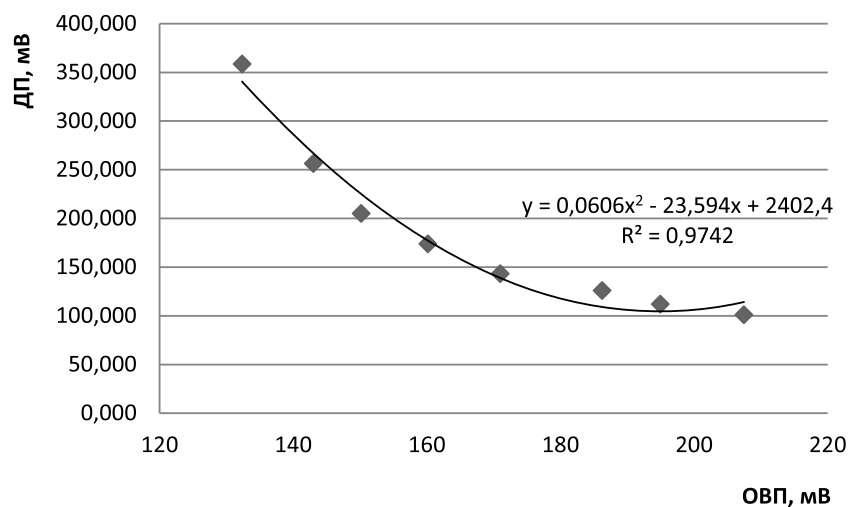


Рис. 9. Зависимость значений дзета-потенциала от ОВП

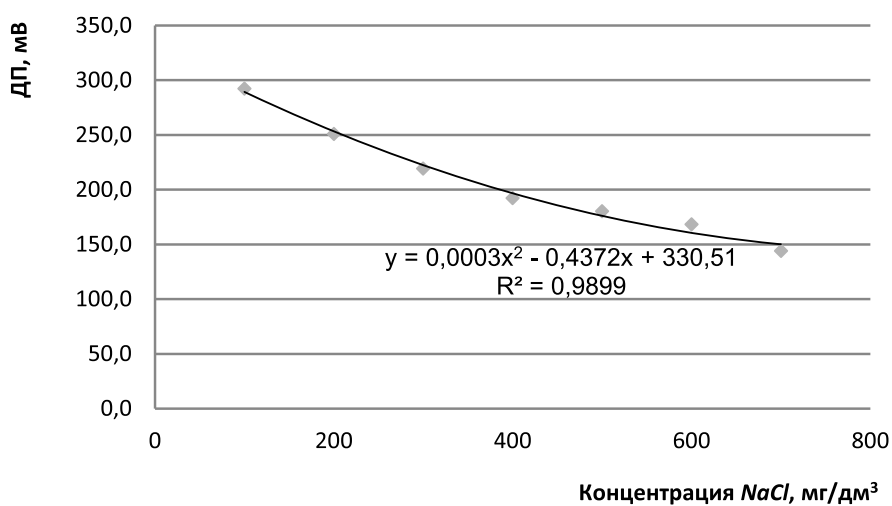


Рис. 10. Зависимость значений дзета-потенциал от концентрации NaCl в воде

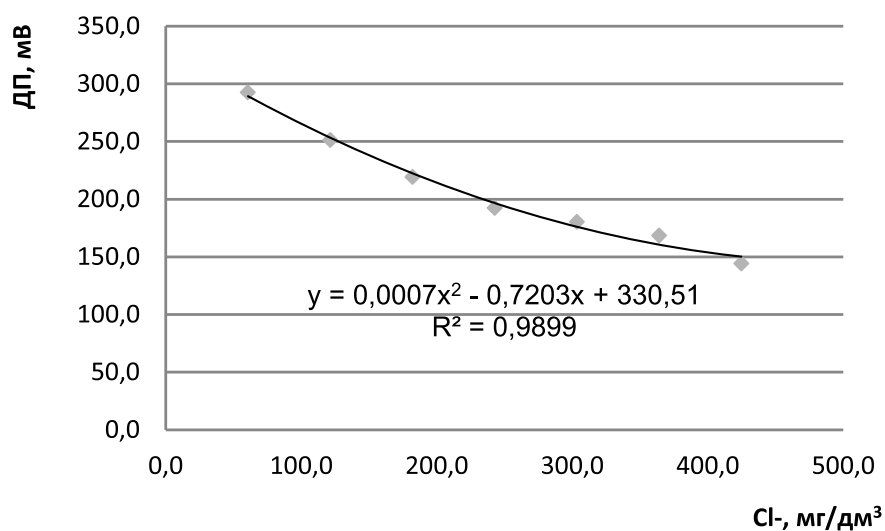


Рис. 11. Зависимость дзета-потенциала от концентрации ионов Cl⁻ в воде

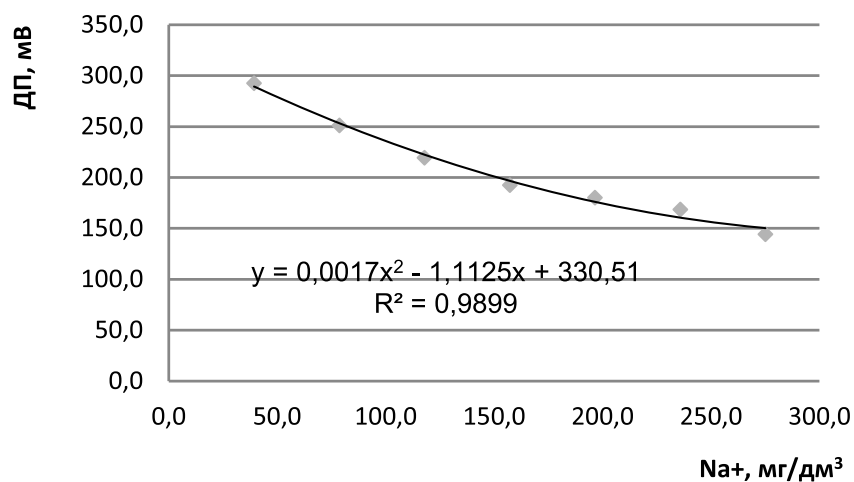


Рис. 12. Зависимость дзета-потенциала от концентрации ионов Na⁺ в воде

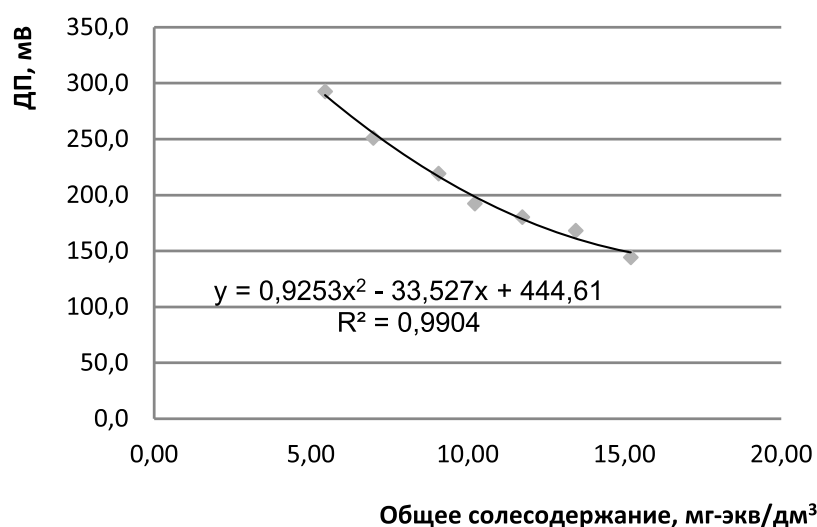


Рис. 13. Зависимость значений дзета-потенциала от общего солевого содержания воды

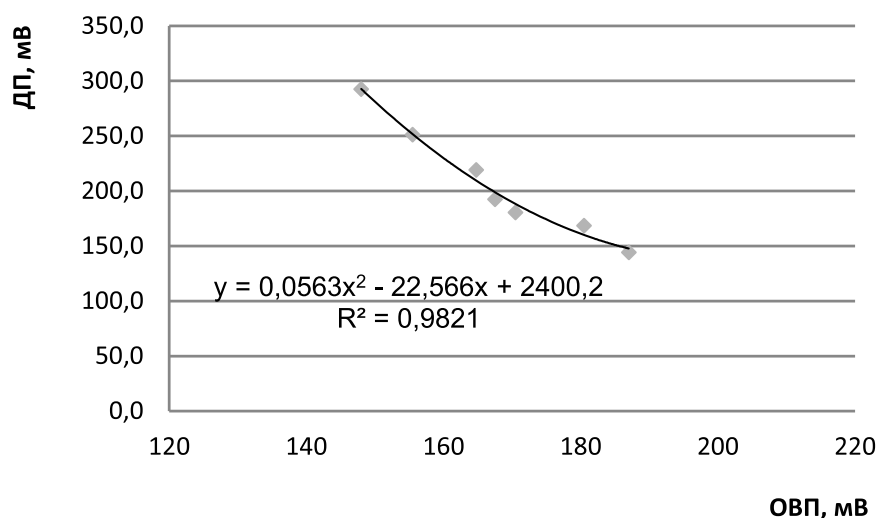


Рис. 14. Зависимость значений дзета-потенциала от ОВП

Выводы. 1. Установлено соответствие всех изучаемых показателей воды нормам СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения». В ходе сбора органолептических показателей качества воды были выявлены отдельные отклонения от нормативов ПДК показателя цветности исходных проб на один-три градуса. Это может быть связано с высоким содержанием железа и его соединений или гуминовых веществ в эти дни, а также с качеством трубопроводов в сетях и общим ростом цветности воды в Саратовском водохранилище в районе Самары за последние годы.

2. Обнаружены устойчивые связи между значениями дзета-потенциала, ОВП, общей

жесткостью воды, катионами Mg^{2+} и Ca^{2+} при величине достоверности аппроксимации во всех случаях больше 0,83.

3. Выявлена тенденция к уменьшению величины дзета-потенциала как при увеличении концентрации соли, так и при увеличении содержания катионов Na^+ и анионов Cl^- . Это объясняется приближением к порогу растворимости и повышением вероятности выпадения соли в осадок, что подтверждает теорию о пороговом значении дзета-потенциала в 30 мВ, при котором теряется устойчивость коллоидной систем.

4. Результатами «контрольной» серии исследований, проведенных на подобной исходной воде, но в период с 18.02 по 26.02. 2019 г. была установлена большая сходимость одно-

именных зависимостей. Так сравнительный попарный анализ данных табл. 1 и 3; 2 и 4 подтвердил тенденцию к уменьшению величины дзета-потенциала как при увеличении концентрации соли, так и при увеличении катионов Na⁺ и анионов Cl⁻. Высокая сходимость полученных результатов была выявлена и при попарном сравнении данных, приведённых на рис. 5 и 10; 6 и 11; 7 и 12; 8 и 14.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Атанов Н.А., Волков И.Н., Кичигин В.И. Устройство для измерения величины дзета-потенциала // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 70-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / СГАСУ. Самара, 2013. 880 с.

2. Чудновский С.М. Приборы и оборудование по контролю за состоянием природных и сточных вод. Вологда: ВоГТУ, 2011. 88 с.

3. Савицкая Т. А., Котиков Д.А., Шичкова Т.А. Коллоидная химия: строение двойного электрического слоя, получение и устойчивость дисперсных систем. Минск: БГУ, 2011. 82 с.

Об авторах:

КИЧИГИН Виктор Иванович

доктор технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846)339-14-11 E-mail: kichigin.viktr@rambler.ru

ГАЗИЗОВ Наиль Ахтямович

магистрант 2-го года обучения по кафедре водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846)339-14-11

САЛИХОВА Альфия Рафиковна

магистрант 2-го года обучения по кафедре водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846)339-14-11

4. Закс Л. Статистическое оценивание / пер. с нем. В.Н. Варыгина; под ред. Ю.П. Адлера и В.Г. Горского. М.: Статистика, 1976. 599 с.

KICHIGIN Viktor I.

Doctor of Engineering Science, Professor of the Water Supply and Waste Water Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya, 194, tel. (846)339-14-11 E-mail: kichigin.viktr@rambler.ru

GAZIZOV Nail A.

Master's Degree Student of the Water Supply and Waste Water Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya, 194, tel. (846)339-14-11

SALIKHOVA Alfia R.

Master's Degree Student of the Water Supply and Waste Water Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya, 194, tel. (846)339-14-11

Для цитирования: Кичигин В.И., Газизов Н.А., Салихова А.Р. Исследование влияния изменения ионного состава воды на величины ее окислительно-восстановительного потенциала и дзета-потенциала // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, №1. С. 35–46. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.7.

For citation: Kichigin V.I., Gazizov N.A., Salikhova A.R. Study of the effect of Changes in ionic water composition on the value of its redox potential and zeta-potential // Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1. Pp. 35–46. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.7.