



Получена: 04.02.2021 г.

Приета: 24.02.2021 г.

СЪДЪРЖАНИЕ НА АЛУМИНИЙ В ЧАСТИ НА СЕЛИЩНАТА ВОДОПРОВОДНА МРЕЖА НА ГР. СОФИЯ

И. Ангелова¹

Ключови думи: алуминий, питейна вода, водопроводна мрежа

РЕЗЮМЕ

Двете основни причини за поява на алуминий във водата, използвана за питейно-битови нужди са наличието на елемента в суровата вода и употребата на алуминий-съдържащи коагуланти в процеса на нейното пречистване. И двете предпоставки са налични във водоснабдителната система на гр. София. Алуминият, попаднал в селищната водопроводна мрежа може да остане в разтворена форма или да образува отлагания при взаимодействието си с други елементи. По време на настоящото проучване е проведен ежедневен мониторинг на качеството на пречистената вода по отношение на алуминий от двете основни пречиствателни станции на Столична община – ПСПВ Бистрица и ПСПВ Панчарево и в 5 пункта от водопроводната мрежа на гр. София. Получените данни показват изключително стабилна концентрация на алуминия във филтрираната вода от ПСПВ Бистрица – около 40 µg/L. В пречистената вода от ПСПВ Панчарево се наблюдават колебания, като концентрацията на елемента достига до над 80 µg/L. Максимално допустимата концентрация на алуминий съгласно Наредба № 9 за качеството на водата, предназначена за питейно-битови нужди, е 200 µg/L. Проведеният кълъстерен анализ разкрива подобие в концентрациите на алуминий в мрежата с тези на изхода на двете ПСПВ, което дава основание да се счита, че в мрежата не се развиват процеси, вследствие на които да се наблюдава вторично замърсяване на водата, или тяхното влияние върху концентрацията на алуминий в питейната вода на гр. София е незначително.

¹ Ирина Ангелова, гл. ас. д-р инж., кат. „Водоснабдяване, канализация и пречистване на води”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: angelova_fhe@uacg.bg

1. Въведение

Алуминият (Al) е неесенциален, а токсичен за хората метал. Множество изследвания за токсичността на алуминия (вдишан от въздуха, приет чрез храна и вода, или абсорбиран чрез кожата) показват, че той поразява белите дробове и нервната система. Съществуват изследвания, които свързват повишени концентрации на алуминий в питейна вода с повишен риск от развитие на болестта на Алцхаймер, болестта на Паркинсон и др. [1, 2].

Алуминият е метал, чиято концентрация във водни обекти е доста променлива. Постъпва в повърхностните води от различни източници – от атмосферата в резултат на силен дъжд (снеговалеж), от разтваряне на скали и почва, от антропогенна дейност. През последните няколко години са установени повишени концентрации на алуминий в суровата вода, идваща от язовир Искър и постъпваща в пречиствателни станции за питейни води (ПСПВ) Бистрица и Панчарево. Това са основните източници, които захранват водоснабдителната мрежа на гр. София с питейна вода. Алуминият, установен в суровата вода, постъпваща в ПСПВ Бистрица и Панчарево, е с природен произход, като е концентриран в дънните утайки на язовир Искър. Най-вероятни източници на алуминий са процесите на химично изветряне и разграждане на кристалните решетки на фелдшпатите (микроклин, албит и др.), на слюдата биотит, на мусковита и други алумосиликати, налични в дънните утайки [3].

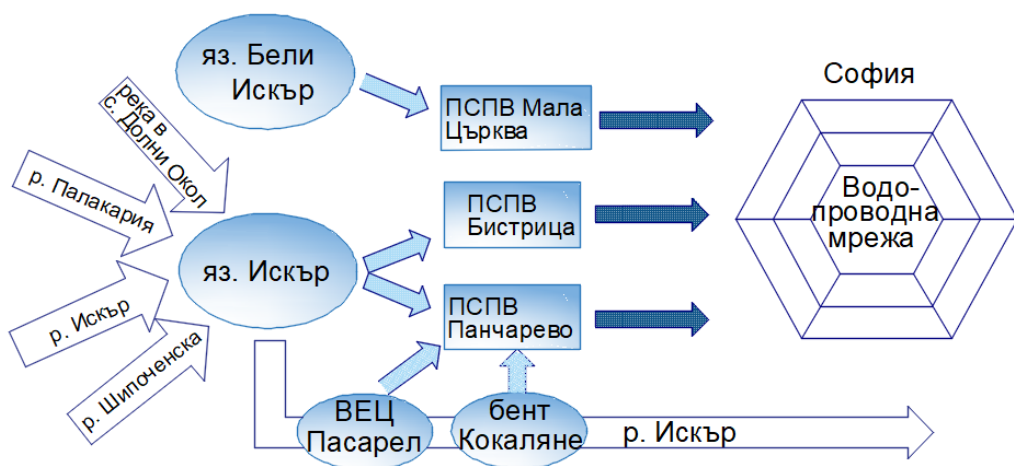
Доказано е, че завишени концентрации на алуминий (вкл. над нормативно определената стойност от 200 µg/L) в питейната вода са резултат от прилагането на коагуланти на основата на алуминий в процеса на пречистване в ПСПВ [4 – 6]. Наблюдавано е, че концентрациите на Al във води, третирани с коагуланти на база Al, се променят значително в зависимост от сезона и особеностите на третираната вода. Разграничават се основно две форми на алуминий в обработваната в ПСПВ вода – в разтворена и неразтворена форма. Когато към водата се добави коагулант на основата на Al, Al^{3+} бързо хидролизира и образува $Al(OH)_2^+$, $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)_4$, $Al_2(OH)_2^{4+}$, $Al_3(OH)_4^{5+}$, $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$ и неразтворима аморфна утайка $Al(OH)_3(am)$ [4], които взаимодействат със замърсителите в обработваната вода. Конвенционалните методи на пречистване са ефективни при отстраняване на неразтворените алуминиеви съединения, като остатъчният алуминий след процесите на пречистване е под формата на комплекси с флуориди, фосфати, сулфати, хидроксидни йони и най-вече с разтворени органични съединения [7]. Концентрацията на остатъчен разтворен Al се увеличава при високо органично съдържание на обработваната вода, както и с увеличаване на дозата на хлора при предхлориране [8]. Наличието на остатъчен алуминий в разтворена форма се дължи на неподходящ коагулант или неправилна доза, а неразтворен остатъчен алуминий е резултат от неефективна работа на процесите на утаяване и филтрация [9]. Остатъчният алуминий от процесите на пречистване попада в селищната водопроводна мрежа, където може да остане в разтворена или флуидизирана форма и така да достигне до консуматорите. При определени условия в селищната водопроводна мрежа се образуват отлагания, които съдържат алуминий. Изследване с рентгенови лъчи, проведени от Li и сътрудници установява, че отлаганията по неметални тръби в селищната водопроводна мрежа съдържат предимно алуминий и манган, а при металните тръби – желязо [10]. Същите автори твърдят, че вероятността манганът и алуминият да се отделят обратно във водата при промиване или високи скорости в тръбната мрежа е по-висока, отколкото да се отдели желязото, продукт на корозия.

В отлаганията в разпределителните системи Al може да съществува под различни форми като аморфен $Al(OH)_3$, алумосиликати и алуминиеви фосфати [11]. Различните видове Al (Al_{10} , Al_{13} и Al_{30} – високовалентни съединения, извлечени от полиалуминиев хлорид, който е ефективен коагулант) имат различно поведение като полимерните съединения имат много по-висока склонност към отлагане [12]. Проучвания са установили, че алуминият заедно с мангана се отлага на контактната повърхност между твърдата фаза (тръбата) и водата, и концентрацията им силно намалява в дълбочина на формираните отлагания, особено при корозирали метални тръби [10]. Процесите, участващи във формирането на отлаганията, са окисление и вторична коагулация на алуминий и други химични елементи, съдържащи се във водата и съвместното им утаяване или адсорбция по стените на тръбите. Алуминият и манганът образуват рохкава утайка със слаба кристална структура. В резултат на това нестабилните отлагания от Mn и Al, когато са в достатъчно количество, могат да бъдат лесно освободени от стените на тръбата и да постъпят в питейната вода при хидравлични смущения в работата на водопроводната мрежа. Освобождаването на алуминий от отлагания във водата в селищната водопроводна мрежа може да бъде стимулирано от биохимични фактори, които все още не са добре изучени [10].

Завишените и често наднормени концентрации на алуминий на входа на ПСПВ Бистрица и ПСПВ Панчарево [13] са предизвикателство за технологията на пречистване, прилагана в станциите и първа предпоставка за наличие на елемента в селищната водопроводна мрежа. Наред с това, в двете ПСПВ се използва един и същ коагулант на алуминиева основа, който положително има своето влияние върху концентрацията на алуминий в пречистената вода. Повишени нива на алуминий са установявани на изхода на пречиствателните станции за питейни води и в отделни контролни пунктове във водопроводната мрежа на град София и околните села.

Настоящото проучване цели да даде представа за произхода на завишени концентрации на алуминий в питейната вода, като оцени възможното натрупване и допълнително отделяне на алуминий във водопроводната мрежа на гр. София.

2. Водоснабдителна система на град София



Фиг. 1. Схема на водоснабдителната система на гр. София

Язовир Искър е основният източник на питейна вода за гр. София. В него се вливат пет основни реки – р. Искър, р. Палакария, реките, преминаващи през селата Долни и Горни Окол и р. Шипоченска. В язовира се вливат и няколко временни потока, намиращи се от северната страна, но техният приток е незначителен. Водата от язовира преминава през пречиствателна станция за питейни води (ПСПВ) Бистрица и постъпва във водопроводната мрежа. Допълнително водоснабдителната система на града се захранва и от ВЕЦ Пасарел и бент „Кокаляне“ (язовир Пасарел), чиято вода се пречиства от ПСПВ Панчарево. Във водопроводната мрежа на гр. София се подава и вода от яз. Бели Искър, пречистена в ПСПВ Мала Църква. Тези водни количества захранват предимно кварталите на столицата, разположени в полите на Витоша. Незначителни количества вода постъпват във водопроводната мрежа и от Витоша, като в пробите от тези два водоизточника не са установявани завишени концентрации на алуминий.

Пречистването на водата в двете пречиствателни станции се осъществява чрез коагулация с коагуланти на основата на алуминий и бързи пясъчни филтри. Пречистената вода постъпва гравитачно в градската водоснабдителна система (фиг. 1).

3. Методи и материали

Като част от настоящото проучване е проведен ежедневен мониторинг на качествата на пречистената вода на изход ПСПВ Бистрица и ПСПВ Панчарево през м. ноември 2020 г.

В селищната водопроводна мрежа на гр. София са използвани 5 пробовземателни пункта – жк Младост, район Лозенец (УАСГ), жк Дружба, кв. Подуяне и жк Люлин.

3.1. Пробоподготовка на водни проби

Водните проби са филтрувани веднага след пробовземането с помощта на 45 µm мембранен филтър, предварително обработен с разрежена HNO₃ (Fisher Chemicals, Trace Metal Grade) и измит с дейонизирана вода. Всички използвани контейнери, филтри и спринцовки са предварително измити със смес от азотна киселина и дейонизирана вода в съотношение (1:1) и оставени в същата смес за 24 часа. След това са изплакнати многократно с дейонизирана вода. Преди пробовземането контейнерите са промити с вода от източника.

След пробовземането водните проби са консервирани чрез добавяне на 0,5 mL HNO₃ (Fisher Chemicals, Trace Metal Grade) с концентрация 1 mol/L на 50 mL проба, за да се постигне pH 2 с цел да се предотврати бактериологичната активност и загуби от отлагането на метали върху стените на съда.

3.2. ICP-MS анализ за определяне на Al във водни проби

Определянето на Al е направено при стандартни условия. Калибрирането е направено с едноелементен стандарт на Al (Fluka) с концентрация 1000 mg/L. Калибрационната права е построена със серия от стандартни разтвори, получени след подходящо разреждане на изходния едноелементен стандарт. За валидирането на използвания ICP-MS метод е използван сертифициран референтен материал на повърхностни води SPS-SW2 (Reference Material for Measurement of Elements in Surface Waters, Spectrapure Standards,

Norway) и TM-23.5 (Environmental matrix reference material, Canada). Работните условия на ICP-MS са посочени в табл. 1.

Таблица 1. Инструментални параметри на ICP-MS

Охлаждащ Ar поток	15 L/min
Спомагателен Ar поток	1,20 L/min
Поток на пулверизиращия газ	0,85 L/min
Напрежение на лещите	6,00 V
Мощност на ICP RF	1100 W
Интеграционно време	2000 ms
Време на задържане	50 ms
Метод на измерване	Peak hop
Поток на пробата	2 mL/min
Време за миене между пробите	180 s
Миеш разтвор	3% HNO ₃

3.3. Оценка на точността на инструменталното измерване

В табл. 2 са представени експериментално определените и сертифицираните стойности на алуминий в използваните сертифицирани референтни материали SPS-SW2 и TM-23.5. Аналитичният добив е съответно 99,6% и 97,0%. Обикновено се счита, че ако стойностите на аналитичния добив са в интервала 85 – 110%, методът е подходящ за целта си.

Таблица 2. Сравнение на измерените и сертифицирани стойности на алуминий в сертифицирани референтни материали

Елемент	SPS-SW2		TM-23.5	
	Измерена стойност	Сертифицирана стойност	Измерена стойност	Сертифицирана стойност
Al ng/mL	251±5	250±1	98,6±5,7	95,7±10,1

3.4. Многовариационен анализ на данните

Хеометрията използва методите на класическата и многовариационната статистика, за да класифицира, моделира и интерпретира данни от многопараметрични системи. Клъстерният анализ е метод за класифициране и интерпретиране на данни, получени при изучаване на комплексни по характера си системи [14, 15]. Целта на клъстерирането е да открие и визуализира известна структурност в изследвания масив от данни, главно подобие между обектите. Това причислява клъстерния анализ към групата методи, чиято техника позволява създаване на образци без предварителна информация за анализираната система.

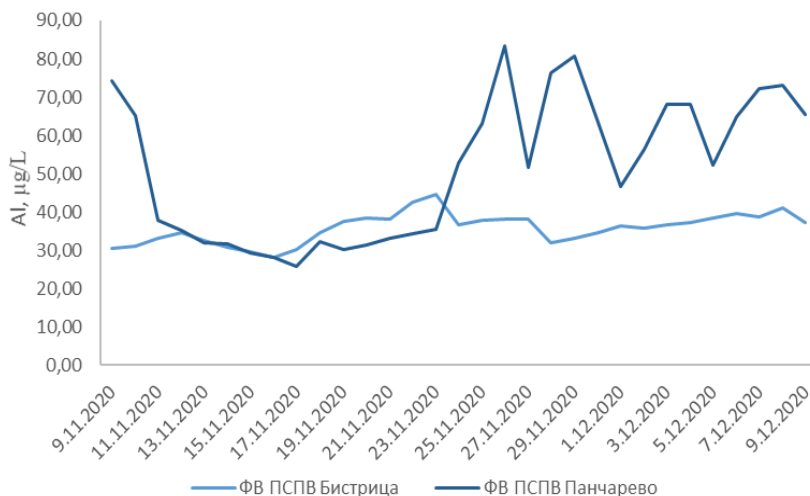
Като предварителна стъпка е необходимо да се извърши стандартизация на данните, като най-често се използва т. нар. автоскалиране (Z -трансформация). Следва определяне на подобие между обектите, което може да се измери чрез изчисляване на корелационен коефициент или Евклидово разстояние между тях. Последната стъпка от провеждането на клъстерния анализ е избор на алгоритъм за свързване на обектите в групи на подобие (кълстери) и тяхната визуализация.

Същността на алгоритмите за клъстериране се състои в избора на два обекта, между които разстоянието е най-малко и приемането, че те образуват нов обект. Изчислява се разстоянието между новия и останалите обекти, а останалите разстояния се запазват. Така се формира нова матрица на подобие, в която обектите са с един по-малко. Това действие се повтаря, докато останат само два обекта. На базата на получените разстояния се построява графика, която показва нивото на разстояние между обектите, т. нар. дендрограма. Различният начин за изчисляване на разстоянието между новосформирания кълстер и останалите обекти (кълстери) при различните алгоритми, често води до различни класификационни резултати.

В настоящата работа като алгоритъм на свързване е използван методът на Уорд, а като мярка за подобие – квадратът на Евклидовото разстояние. Получените при метода на Уорд кълстери са балансирани по големина, тъй като този алгоритъм за клъстериране отчита хетерогенността на системата. При него малките разстояния стават още по-малки, а големите – още по-големи. По този начин близките обекти се събират, а далечните се раздалечават в още по-голяма степен. Това го прави и един от най-използваните алгоритми за свързване [16].

4. Резултати и дискусия

Концентрациите на алуминий в селищната водопроводна мрежа на гр. София са обект на мониторинг в периода от 09.11.2020 г. до 09.12.2020 г. За същия период са измервани ежедневно концентрациите на алуминий на изход ПСПВ Бистрица и ПСПВ Панчарево (фиг. 2).

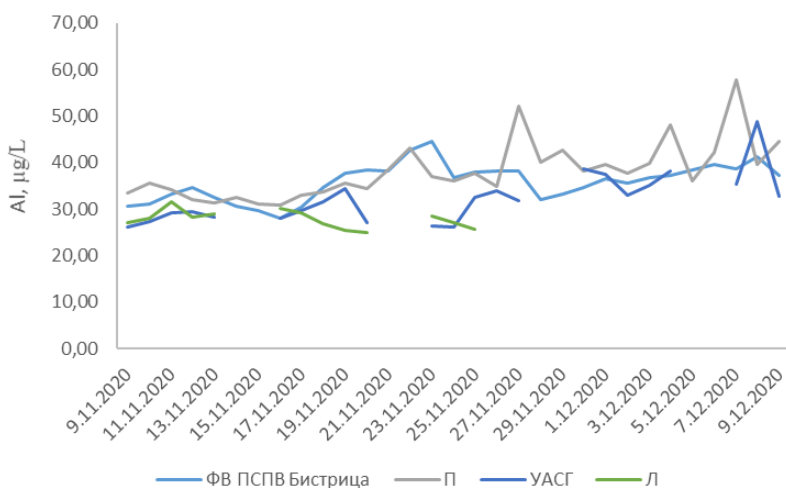


Фиг. 2. Концентрации на алуминий във филтрираната вода (ФВ) на изход ПСПВ Бистрица и ПСПВ Панчарево, 09.11 – 09.12.2020 г.

Данните показват изключително стабилна концентрация на алуминия на изхода на ПСПВ Бистрица – около 40 µg/L. В пречистената вода от ПСПВ Панчарево се наблюдават колебания, като концентрацията на елемента достига до над 80 µg/L. Наблюдаваните различия в концентрациите на изхода на двете станции се дължат на вече разглежданите особености в начина на довеждане на суровата вода до двете пречиствателни станции и респективно различните входни концентрации, но също така и на различните технологични схеми на пречистване и конструкции на отделните съоръжения. Присъствието на алуминий в пречистената вода се дължи основно на остатъчни концентрации вследствие на реагентната обработка на водата, когато началното и добавеното съдържание не са адекватно задържани основно в процеса на пясъчна филтрация. Твърде високата концентрация на алуминий в пречистената вода от ПСПВ Панчарево за сух месец, когато постъпващата мътност на суровата вода е ниска и реагентната обработка се извършва със занижени дози на коагулант, е следствие от почти двойно по-малката височина на филтърния пълнеж на бързите пясъчни филтри в ПСПВ Панчарево – 0,70 m, в сравнение с тази в ПСПВ Бистрица – 1,20 m, както и несъвършенства в конструкцията на регулаторите на филтърна скорост тип сифон – концентрик в ПСПВ Панчарево, в сравнение с модерните клапи тип бъртерфлай с пневмоавтоматика в ПСПВ Бистрица.

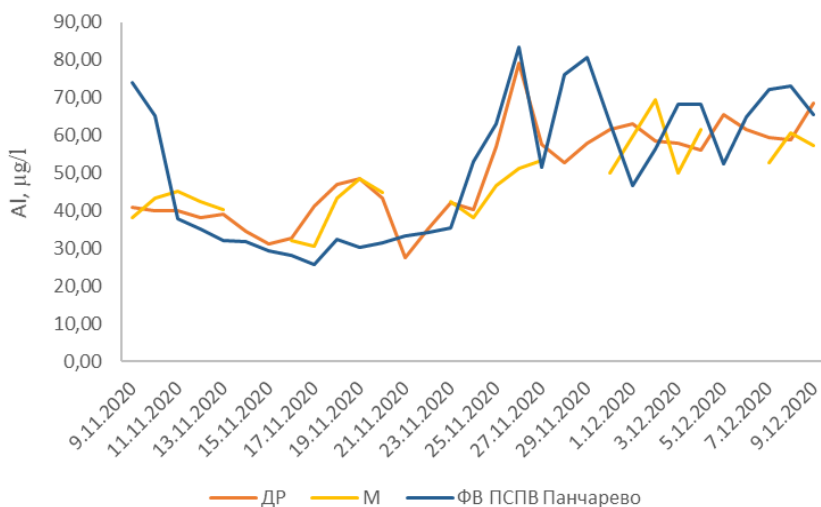
Съпоставката на резултатите от анализите за качеството на водата след пречиствателните станции и в мрежата ще даде информация до колко концентрацията на елемента зависи единствено от качествата на подаваната вода, а не от процеси на вторична коагулация във водопроводната мрежа. Водата във водопроводната мрежа на гр. София е най-често смесена – пречистена вода от ПСПВ Бистрица и ПСПВ Панчарево – жк Люлин (Л), жк Младост (М), кв. Подуяне (П) и жк Дружба (ДР) и пречистена вода от ПСПВ Бистрица, ПСПВ Панчарево и ПСПВ Мала църква – район Лозенец (УАСГ). „Софийска вода“ АД не разполага с данни за разпределението на подаваното водно количество към отделните райони на града спрямо пречиствателната станция.

Данните, получени от анализа на съдържанието на алуминий, са използвани за групиране на пробовземните пунктове и отнасянето им към една от двете пречиствателни станции. Стойностите, измерени във водопроводната мрежа на район Лозенец (УАСГ), жк Люлин (Л) и кв. Подуяне (П) през първата половина на периода на измерване са около и под стойностите, измерени на изход ПСПВ Бистрица (фиг. 3).



Фиг. 3. Концентрации на алуминий във филтрираната вода (ФВ) на изход ПСПВ Бистрица, жк Люлин (Л), район Лозенец (УАСГ) и кв. Подуяне (П), 09.11 – 09.12.2020 г.

Предвид, че диапазонът на изменение е изключително малък, може да се направи заключението, че през този период основно влияние върху качеството на водата във водопроводната мрежа има съставът на филтрираната вода от ПСПВ Бистрица. Наблюдаваните по-ниски стойности в район Люлин са следствие от включване на водни количества и от ПСПВ Мала Църква, пречистваща водите от яз. Бели Искър, за които няма данни за завишени концентрации на алуминий. Друг извод, който може да се направи, е, че влиянието на престоя на водата в мрежата и особено на процеса на вторична коагулация е незначително и не изменя качеството на питейната вода. В края на периода на изследване се наблюдава повишаване на концентрациите на алуминий във водата от кв. Подуяне, като тенденцията ясно следва флукуацията в концентрациите на елемента в пречистената вода от ПСПВ Панчарево. Тази зависимост доказва по-скоро завишаване на процента вода, подавана от тази станция, отколкото процеси на отделяне на алуминий в тръбната мрежа на района.

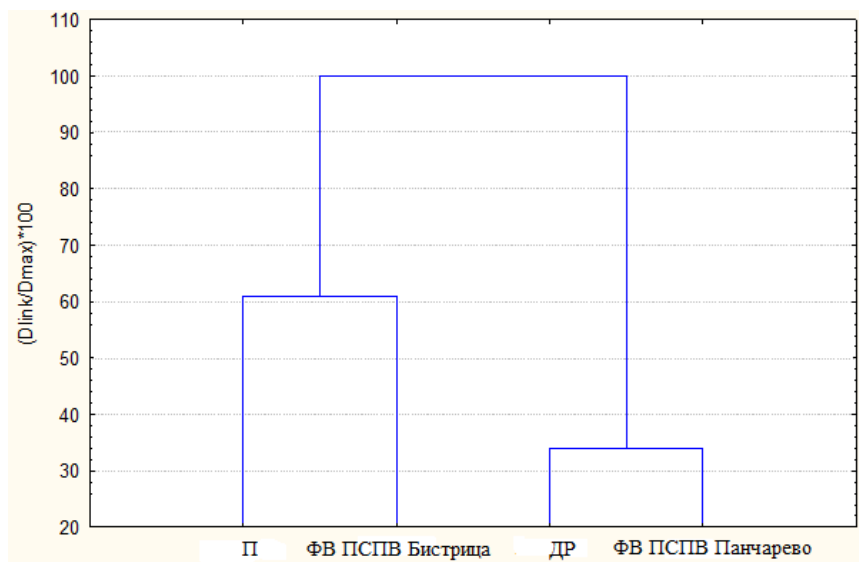


Фиг. 4. Концентрации на алуминий във филтрираната вода (ФВ) на изход ПСПВ Панчарево, жк Дружба (ДР) и жк Младост (М), 09.11 – 09.12.2020 г.

Съгласно представената графика на фиг. 4, изменението на концентрациите на алуминий в питейната вода в жк Дружба и жк Младост плътно следва хода на изменение на концентрациите на елемента в пречистената вода от ПСПВ Панчарево, особено видно през втората половина на изследвания период. Все пак неподлежащ на тази пряка връзка е периодът между 11.11 и 22.11.2020 г., когато се забелязват концентрации на алуминий във водопроводната мрежа, по-високи, както от тези на изхода на ПСПВ Панчарево, така и на изхода на ПСПВ Бистрица, достигащи до 50 µg/L. Възможна причина за наблюдаваното явление е закъснение в разпространението на високите концентрации на алуминий на изхода на ПСПВ Панчарево от началото на периода (74,14 µg/L на 09.11.2020 г.) или натрупване на фини неразтворени частици по дъното на тръбната мрежа, върху които е отложен алуминий и тяхното флуидизиране при рязка промяна на подаваното водно количество.

5. Клъстерен анализ

Данните от пробовземателните пунктове в жк Дружба (ДР) и кв. Подуяне (П), както и на изход ПСПВ Панчарево и ПСПВ Бистрица са най-пълни и съдържат по 31 стойности за концентрацията на алуминий. На фиг. 5 е представена получената дендрограма при клъстерирането им. Измерените стойности на алуминия в пункт ж.к. „Люлин“ (Л) са 14, брой който е недостатъчен за търсената представителност на данните, поради което те не са включени в клъстерния анализ. Данните от пробовземателни пунктове жк Младост (М) и район Лозенец (УАСГ) съдържат по 25 стойности за концентрацията на алуминий, тъй като проби не са взимани през уикендите на петте пробовземателни седмици. На фиг. 6 е представена дендрограмата, получена при клъстериране на 4-те пробовземателни пункта и 2-те ПСПВ в 25-те работни дни на пробовземателния период.



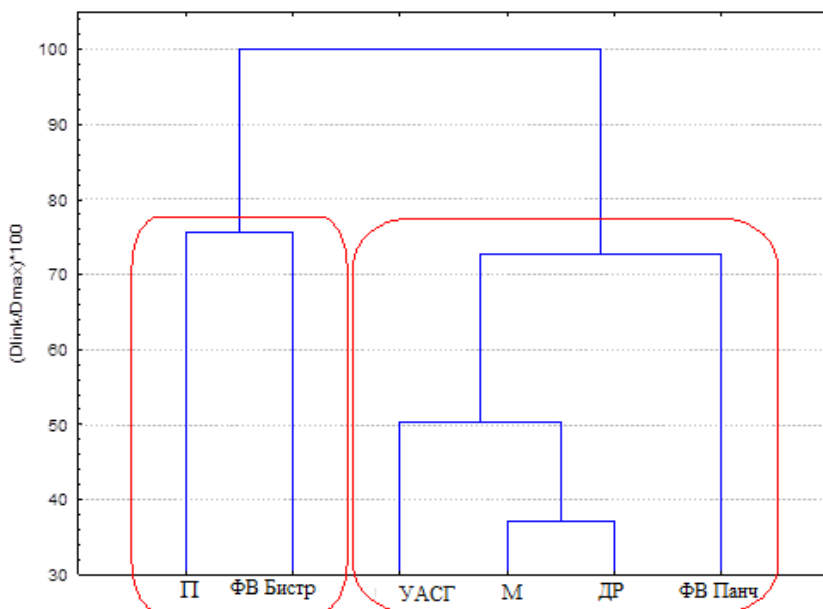
Фиг. 5. Дендрограма, получена при клъстерен анализ на данните от изход (ФВ) на ПСПВ Панчарево, ПСПВ Бистрица, жк Дружба (ДР) и кв. Подуяне (П)

Резултатите от анализа потвърждават подобие между концентрацията на алуминий в пробовземателния пункт жк Дружба и изхода на ПСПВ Панчарево. Разкрива се и по-близкото сходство на пробовземателния пункт кв. Подуяне с изхода на ПСПВ Бистрица, като по-голямата дължина на връзката между обектите (ниска степен на подобие) най-вероятно се дължи на възможното завишаване на процента вода, подаван от ПСПВ Панчарево в края на изследвания период.

При клъстериране на 4-те пробовземателни пункта и 2-те ПСПВ отново се открива сходство (статистически не силно значимо) между кв. Подуяне и филтрираната вода от Бистрица, както и между район Лозенец (УАСГ), жк Младост, жк Дружба и филтрираната вода от ПСПВ Панчарево. Тези резултати се дължат на подобното изменение на концентрациите на алуминий в изследвания период и дават индикация за това от къде основно получават питейна вода пробовземателните пунктове.

Получените резултати при клъстерирането на данните за концентрациите на алуминий във водите на изход ПСПВ и селищната водопроводна мрежа дават основание да се счита, че в мрежата не се развиват процеси, вследствие на които да се наблюдава вто-

рично замърсяване на водата, или тяхното влияние върху концентрацията на алуминий в питейната вода на гр. София е незначително.



Фиг. 6. Дендрограма, получена при клъстерен анализ на данните от изход (ФВ) на ПСПВ Панчарево, (ФВ) ПСПВ Бистрица, район Лозенец (УАСГ), жк Младост (М), жк Дружба (ДР) и кв. Подуяне (П)

6. Заключение

Алуминият, установен в суровата вода, постъпваща в ПСПВ Бистрица и Панчарево, е с природен произход, като е концентриран в дънните утайки на язовир Искър. Суровата вода е един от основните източници на алуминий в питейната вода на Столична община. Концентрациите на алуминий в пречистената вода често надвишават концентрациите на алуминий на вход, поради постъпване на елемента, като част от реагентната обработка на питейната вода.

Данните, получени от анализа на съдържанието на алуминий във водопроводната мрежа на район Лозенец (УАСГ), жк Люлин и кв. Подуяне свидетелстват, че през изследвания период, основно влияние върху качеството на водата има съставът на филтрираната вода от ПСПВ Бистрица. Наблюдаваните по-ниски стойности в район Люлин са следствие от включване на водни количества и от ПСПВ Мала Църква, пречистваща водите от яз. Бели Искър, за които няма данни за завишени концентрации на алуминий.

Изменението на съдържанието на алуминий в питейната вода в жк Дружба и жк Младост плътно следва хода на изменение на концентрациите на елемента в пречистената вода от ПСПВ Панчарево. Забелязаните по-високи концентрации, достигащи до $50 \mu\text{g/L}$ се дължат на закъснение в разпространението на високите стойности на алуминий на изхода на ПСПВ Панчарево или натрупване на фини неразтворени частици по дъното на тръбната мрежа, върху които е отложен алуминий и тяхното флуидизиране при рязка промяна на подаваното водно количество.

Отчетените концентрации на алуминий във водата от водопроводната мрежа на гр. София оформят ясни клъстери с тези във водата на изход ПСПВ, което дава основание да се счита, че в мрежата не се развиват процеси, следствие на които да се наблюдава вторично замърсяване на водата, или тяхното влияние върху концентрацията на алуминий в питейната вода на гр. София е незначително.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор БН 221/2019 е подкрепена финансово от Център за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

Авторът изказва огромна благодарност на Емилия Ангелова, гл. ас. д-р Вероника Михайлова и гл. ас. д-р Галина Йотова за помощта при съставянето на настоящия ръкопис.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Hornig, Ch., Wang, Sh., Cheng, I.* Effects of sedimentbound Cd, Pb, and Ni on the growth, feeding, and survival of *Capitella* sp. // *Int. J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 2009, 371, 68 –76.
2. *Vicente-Martorell, J. J., Galindo-Riano, M. D., Garcia-Vargas, M., Granado-Castro, M. D.* Bioavailability of heavy metals monitoring water, sediments and fish species from a polluted estuary. // *J. Hazard. Mater.*, 2009, 162, 823 – 836.
3. *Angelova, I., Ivanov, I., Venelinov, T.* Origin of Aluminium in the raw water of Sofia city, Bulgaria. // *Water, Air Soil Pollut.*, 2020, 231 (9), 455.
4. *Benschoten, J. E. V., Edzwald, J. K.* Chemical aspects of coagulation using aluminum salts – I. Hydrolytic reactions of alum and polyaluminum chloride. // *Water Res.* 1990, 24 (12), 1519 – 1526.
5. *Ma, M., Gu, J. N., Li, Y. X., Wang, M.* Residual aluminum control for source water with high risk of overproof coagulant residue: a novel application of principal component analysis. // *J. Environ. Chem. Eng.*, 2017, 5 (3), 2605 – 2610.
6. *Yang, Z., Gao, B., Yue, Q.* Coagulation performance and residual aluminum speciation of $Al_2(SO_4)_3$ and polyaluminum chloride (PAC) in Yellow River water treatment. // *Chem. Eng. J.*, 2010, 165 (1), 122 – 132.
7. *Liu, H., Liu, H., Xie, Y.* Fate and fractionation of aluminum in a full-scale Al-based drinking water treatment plant. // *J. Water Supply Res. Technol. Aqua*, 2020, 69 (5), 469 – 477.
8. *Rubin, A. J., Hayden, P. L.* Effect of Univalent Anions on Solubility and Stability of Aluminum(III) Precipitates. 1969, Abstracts of Papers of the American Chemical Society (SEP).
9. *Li, M., Cheng, J., Zou, F., Zhang, C., Wang, M., Li, Y., Gu, J., Yan, M.* Effects of pre-oxidation on residual dissolved aluminum in coagulated water: A pilot-scale study. // *Water Research*, 190, 2021, 116682.
10. *Li, G., Ding, Y., Xu, H., Jin, J., B.* Characterization and release profile of (Mn, Al)-bearing deposits in drinking water distribution systems. // *Chemosphere* 2018, 197, 73 – 80.

11. Snoeyink, V. L., Schock, M. R., Sarin, P., Wang, L., Chen, S. C., Harmon, S. M. Aluminium-containing scales in water distribution systems: prevalence and composition. // J. Water Supply Res. Technol. Aqua, 2003, 52, 455 – 474.

12. Zhang, Y., Shi, B., Zhao, Y., Yan, M., Lytle, D. A., Wang, D. Deposition behavior of residual aluminum in drinking water distribution system: effect of aluminum speciation. // J. Environ. Sci., 2016, 42, 142 – 151.

13. Angelova, I., Ivanov, I., Venelinov, T., Lazarova, S. Occurrence of Aluminium in Urban Water Supply and Sewerage Systems. SGEM Conference proceedings, 2019, 19 (5.1), 501 – 508.

14. Simeonov, V. Osнови na himichnia analiz. Vodolei, Sofia, 52 – 65.

15. Massart, D. L., Kaufman, L. The Interpretation of Analytical Chemical Data by the Use of Cluster Analysis. 1983, Wiley Interscience, New York.

16. Yotova, G. Ekometrichni i ekotoksikologichni metodi pri otsenka na obekti ot okolnata sreda. 2016, PhD thesis, Sofia.

ALUMINUM CONTENT IN PARTS OF THE MUNICIPAL WATER SUPPLY NETWORK OF THE CITY OF SOFIA

I. Angelova¹

Keywords: aluminum, drinking water, water supply network

ABSTRACT

Aluminum occurrence in the municipal water supply network is due to two main reasons – the presence of the element in the raw water and the use of aluminum-based coagulants in the process of water treatment. Both prerequisites are valid for the water supply system of Sofia. Aluminum in the municipal water supply network can remain dissolved or form deposits when interacting with other elements. In the present study, daily monitoring of the quality of treated water in relation to aluminum was conducted from the two main treatment plants of Sofia Municipality – DWTP Bistritsa and DWTP Pancharevo and in 5 points of the water supply network of Sofia. The data obtained shows an extremely stable concentration of aluminum in the filtered water from DWTP Bistritsa – about 40 µg/L. In the treated water from DWTP Pancharevo fluctuations are observed, as the concentration of the element reaches over 80 µg/L. The maximum permissible concentration of aluminum according to Ordinance № 9 for the quality of water intended for drinking and household needs is 200 µg/L. The performed cluster analysis reveals similarity in the concentrations of aluminum in the network with those at the outlet of the two DWTPs, which gives reason to believe that the network does not develop processes that result in secondary water pollution or such processes have negligible influence on the concentration of aluminum in the drinking water of Sofia city.

¹ Irina Angelova, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Water Supply, Sewerage, Water and Wastewater Treatment”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: angelova_fhe@uacg.bg