



УДК 556.3+551.50

## ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

**Лапина Елена Егоровна**, к. г.-м. н., старший научный сотрудник  
Иваньковская научно-исследовательская станция – филиал ИВП РАН  
171251, г. Конаково Тверской обл., ул. Белавинская, 61а

**Кудряшова Вера Вадимовна**, младший научный сотрудник  
Иваньковская научно-исследовательская станция – филиал ИВП РАН  
171251, г. Конаково Тверской обл., ул. Белавинская, 61а

**Лапина Лариса Эдуардовна**, к. т. н., старший научный сотрудник  
Иваньковская научно-исследовательская станция – филиал ИВП РАН  
171251, г. Конаково Тверской обл., ул. Белавинская, 61а

*Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002  
(№ государственной регистрации Государственного задания ИВП РАН 122041100236-4).*

*Аннотация. Проанализирована связь увеличения доли магния в грунтовых водах вокруг Иваньковского водохранилища (юго-восток Тверской области) с химическим составом атмосферных осадков. Приведены данные по динамике медианных значений кальция и магния в поверхностных, грунтовых и напорных водах режимных объектов за период 1998 – 2022 гг. Даны концентрации магния в твердых и жидких осадках. Выявлено, что источником поступления иона магния в грунтовые воды региона могут быть весенне-зимние талые воды.*

*Ключевые слова: атмосферные осадки, поверхностные и подземные воды, химический состав, магний, Иваньковское водохранилище.*

### **Введение**

Иваньковское водохранилище является одним из основных источников питьевого водоснабжения Московского мегаполиса, поэтому процессы изменения питающих его подземных вод требуют пристального внимания. По итогам нескольких площадных гидрохимических съемок грунтовых вод вокруг него установлен рост содержания магния Mg на фоне снижения количества остальных компонентов солевого состава с конца XX века по настоящее время [1]. Возникает вопрос, наблюдается ли эта тенденция в сопредельных грунтовым водам средах и какова ее причина?

### **Объект исследования**

Водотоки, подземные и болотные воды вокруг водохранилища, осадки.

## Материалы и методы

В основу исследования легли итоги площадных съемок химического состава колодцев, проведенных авторами в зимнюю и летнюю межень 1999-2000 и 2018-2019 гг. вокруг Ивановского водохранилища, и данные режимных наблюдений за химическим составом вод опорных объектов в период 1998 – 2022 гг. Применены методы полевых исследований и статистического анализа.

Химический анализ проб производился в аккредитованной химической лаборатории ИвНИС ИВП РАН на следующий день после отбора по аттестованным методикам. Содержание ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  определено титриметрическим методом.

## Результаты и обсуждение

В табл. 1 показаны изменения медианных значений кальция и магния в грунтовых водах (по результатам съемок), в Ивановском водохранилище и его притоке – р. Донховке по данным мониторинга за два десятилетия подряд.

Таблица 1

### Динамика медианных значений ионов $\text{Ca}^{2+}$ и $\text{Mg}^{2+}$ в грунтовых водах, водохранилище и р. Донховке ( $\text{Ca/Mg}$ , мг/дм<sup>3</sup>)

Зима	Лето	Зима	Лето
Грунтовые воды, результаты площадных съемок одних и тех же колодцев [1]			
1999 – 2000 гг.		2018 – 2019 гг.	
108/33,8	90/22,5	89/33,3	85/29,4
Иваньковское водохранилище, правый берег, створ Плоски, поверхность			
1996 - 2006		2008 - 2020	
48/13.4	38/8.5	42.8/11.0	36.7/10.3
Правый приток водохранилища. река Донховка, створ Селихово			
1998 - 2008		2009 - 2019	
81/26.2	65/20.1	70/20.4	70/20.7

Из статистических характеристик использована медиана как наиболее информативная в условиях невыполнения для гидрохимических показателей закона нормального распределения. Отметим, что положительное приращение медианных значений Mg наблюдается преимущественно в летний период.

В естественных условиях ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  поступают в воду в результате взаимодействия растворенного диоксида углерода с карбонатными минералами и при других процессах растворения и химического выветривания горных пород. Источником этих ионов являются также микробиальные процессы, протекающие в почвах на площади водосбора, стоки с сельскохозяйственных угодий [2, 3].

Почвенные воды аллювиальных надпойменных террас Ивановского водохранилища характеризуются низкими медианными значениями Mg: по [4] - 3,7 мг/дм<sup>3</sup>. Согласно данным Агрохимцентра Тверской области, магниевые удобрения сейчас в сельском хозяйстве не используются.

В табл. 2 представлена динамика изменения средних и медианных значений  $\text{Ca/Mg}$  в

Таблица 2

### Динамика средних и медианных значений ионов $\text{Ca}^{2+}$ и $\text{Mg}^{2+}$ в напорных и родниковых водах ( $\text{Ca/Mg}$ , мг/дм<sup>3</sup>) за многолетние периоды

Напорные воды, С <sub>3</sub> kl-as, правый берег водохранилища близ створа Плоски			
Среднее	Медиана	Среднее	Медиана
1998 – 2008 гг. (n = 102)		2009 – 2022 гг. (n = 89)	
68,4/24,4	68/23,2	68,2/22,6	68/21,5
Нисходящий родник, борт надпойменной террасы, сосновый бор			
2006 – 2013 гг. (n = 134)		2014 – 2020 гг. (n = 123)	
Среднее	Медиана	Среднее	Медиана
39,9/8,9	40/8,5	41,1/9,23	41/9,1

артезианской скважине и нисходящем роднике в бору, по данным мониторинга. Экстремальные значения гидрохимических показателей сильнее влияют на среднее значение по сравнению с медианным, поэтому рассмотрены оба показателя. Скважина расположена у д. Плоски, вскрывает воды верхнего карбона [5]. Реки и грунтовые воды региона подпитываются напорными водами, залегающими в известняках и доломитах, которые в условиях климатических изменений могут стать источником роста Ca/Mg. Очевидно, что содержание катионов в скважине за 20 лет не изменилось. В воде родника во втором периоде незначительно возросли медианные значения Mg.

Вышеизложенное приводит к одному возможному источнику Mg – атмосферным осадкам. Опосредованно о поступлении Mg в грунтовые воды с осадками говорит изменение химического состава вод верхового болота Шумново. Питание болота осуществляется только атмосферным путем. Согласно режимным данным, в период 2014 - 2019 гг. в катионном ряду для болотных вод с 2018 г. начал преобладать Mg, концентрации которого в октябре достигали 6,8 мг/дм<sup>3</sup> [6].

Основной процесс изменения состава лежалого снега состоит в растворении карбонатов Ca и Mg, поступающих в снег с пылеватыми частицами [7]. Зимой 2022 г. для уточнения хода накопления ионов Mg<sup>2+</sup> раз в месяц в бору отбирали пробы снега. В феврале концентрация иона Mg<sup>2+</sup> в верхней части колонки снега составила 0,98, в нижней – 0,49; в марте соответственно - 1,45 и 3,45 мг/дм<sup>3</sup>. По данным [8], в соседней Московской области среднее содержание Mg в осадках холодного периода составляет 0,16 мг/дм<sup>3</sup>.

Снегосъемка, проведенная авторами по площади г. Конаково в марте 2009, выявила в районе промзоны основной тип талых вод (по Курлову) SO<sub>4</sub>47Cl<sub>29</sub>/Mg53Na<sub>28</sub>, диапазон концентраций Mg в целом составил 1,22 – 1,83 мг/дм<sup>3</sup>. В 2018 году, согласно [9], диапазон составил 0,5 – 1,0 мг/дм<sup>3</sup>. В городе в качестве противогололедного реагента используют песко-соляную смесь ПСС, в которой может содержаться до 0,05 % иона Mg<sup>2+</sup>. Судя по ионному составу снега в 2009 г., использовали магнийсодержащую пескосоль. Таким образом, ПСС также может играть очень существенную роль в увеличении Mg в грунтовых водах, особенно если в ее составе есть доломитовая крошка.

Из-за участвовавших оттепелей талые воды начинают просачиваться в зону аэрации еще зимой. Весной талые воды фильтруются на зеркало грунтовых вод импульсно, уровень повышается резко на 0,2 – 0,25 м [5]. По трещинам, кротовинам и т.п. они сразу поступают на зеркало либо задерживаются в слабопроницаемых слоях зоны аэрации, постепенно продвигаясь вниз с инфильтрационными водами. Именно поэтому рост Mg (табл. 1) наблюдается только в теплый период года.

Мониторинг химического состава осадков (г. Конаково, 2008 – 2013) дает интервал содержания Mg 0,4 – 4,3 мг/дм<sup>3</sup> [5]. В единичных пробах дождя летом 2018 и 2019 г.г. содержание Mg колебалось от 0 до 2,93 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальное содержание Mg в осадках на территории Валдайского национального парка составляет 0,33 мг/дм<sup>3</sup> [10]. Очевидно, что в осадках теплого времени года в Конаковском районе периодически наблюдаются повышенные концентрации Mg, что указывает на транзитный путь его поступления. Однако Mg, поступивший в теплый период с осадками, из-за высокого коэффициента биологического поглощения не оказывает влияния на рост его концентрации в гидросфере [4].

## **Выводы**

Основная часть Mg, способствующая росту его доли в катионном ряду, поступает в зону аэрации и грунтовые воды в зимне – весенний период, во время участвовавших оттепелей и резкого снеготаяния. Наиболее вероятными его источниками могут быть транзитные аэрозольные частицы, аккумулирующиеся в снежном покрове, и противогололедные пескосмеси. Наблюдаемый рост Mg в грунтовых водах приурочен к теплому периоду.

Динамика медианных значений Mg в воде водохранилища за многолетний период носит колебательный характер и не имеет достоверно значимого тренда на повышение. Содержание Mg в напорных водах верхнего карбона за многолетний период не изменилось. В верховом болоте Шумново в болотных водах зафиксирован рост Mg.

Увеличение медианных значений Mg в грунтовых водах вокруг Ивановского водохранилища, скорее всего, является региональной особенностью и требует более детальных исследований.

#### **Список литературы:**

1. Lapina Elena, Lapina Larisa, Kudrajshova Vera. Transformation of the groundwater composition in coastal zone of the Ivankovo reservoir during 20 years// Engineering geology and hydrogeology, 35. - Sofia, 2021. – P. 3-14, [http://igh-bg.com/Vol/vol\\_35.html](http://igh-bg.com/Vol/vol_35.html)
2. Посохов Е.В. Ионный состав природных вод. Генезис и эволюция. Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 254 с.
3. Никаноров А.М. Гидрохимия. Л.: Гидрометеиздат. 1989. – 348 с.
4. Мотузова Г.В. Формирование химического состава почвенных вод в береговой зоне Ивановского водохранилища // Барсова Н.Ю., Карпова Е.А., Кочарян А.Г. Известия РАН. Серия географическая. – 2010. – № 3. – С. 109 - 117.
5. Лапина Е.Е., Ахметьева Н.П., Кудряшова В.В. Родники долины верхней Волги и ее притоков: условия формирования, режим, охрана. Тверь: ООО «Купол». – 2014.– 256 с.
6. Лапина Е.Е. Динамика гидрохимического состава выработанных верховых болот (Тверская область)//Мат-лы конф. «XI Галкинские чтения». СПб: БИН РАН. – С. 130-131.
7. Красинцева В.В., Кузьмина Н.П., Сенявин М.М. Формирование минерального состава речных вод. М.: Наука, 1977. – 176 с.
8. Еремина И.Д. Химический состав атмосферных осадков в Москве и тенденции его многолетних изменений //Вестник Московского университета. – Серия 5. География. – 2019. – №.3. – С. 3 - 10.
9. Комиссаров А.Б., Чекмарева Е.А. Оценка качества снежного покрова на водосборной территории Ивановского водохранилища /Экологический сб. 7: Труды мол. ученых. Всерос. мол. конф. Тольятти: ИЭВБ РАН: «Анна», 2019. – С. 238-242.
10. Гашкина Н.А., Моисеенко Т.И., Дину М.И., Таций Ю.Г., Баранов Д.Ю. Биогеохимическая миграция элементов в система «атмосферные осадки – кроновые воды – почвенные воды – озеро» в фоновом регионе (Валдайский национальный парк) // Геохимия. – Т.65. – № 7. – 2020. – С. 693-710.

### **INFLUENCE OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION ON GROUNDWATER OF THE COASTAL ZONE OF THE IVANKOVO RESERVOIR**

Elena E. Lapina, Vera V. Kudrajshova, Larisa E. Lapina

*Abstract. The relationship between the increase in the proportion of magnesium in groundwaters around the Ivankovo reservoir (southeast of the Tver region) and the chemical composition of atmospheric precipitation is analyzed. Presented is the data on the dynamics of the median values of calcium and magnesium in the surface, groundwater, and artesian waters of sensitive objects for the period 1998 - 2022. Magnesium concentrations in solid and liquid sediments are given. It was found that spring-winter meltwater can be a source of magnesium ion entry into the region's groundwater.*

*Keywords: atmospheric precipitation, groundwater, chemical composition, magnesium, Ivankovo reservoir.*