

УДК 556.3: 551.435.36

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2025-1-11-24>

## Современный химический состав подземных вод в береговой зоне Иваньковского водохранилища и его малых притоков<sup>1</sup>

И.Л. Григорьева<sup>1</sup>, Е.А. Чекмарева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук, п. Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл.

<sup>2</sup> ФГБУН Институт водных проблем Российской академии наук, г. Конаково, Тверская обл.

Для оценки современного химического состава подземных вод в береговой зоне Иваньковского водохранилища и его малых притоков исследовано восемь родников. Показана изменчивость концентраций главных ионов, микроэлементов и биогенных элементов в воде, исследованных родников, в течение 2023 г. Отмечено, что полученные данные сопоставимы с опубликованными ранее. Зафиксированы высокие концентрации нитратного азота и ряда микроэлементов на участках, подверженных интенсивной антропогенной нагрузке.

**Ключевые слова:** Иваньковское водохранилище, малые притоки, родники, цветность, жесткость, минерализация воды, главные ионы, биогены, микроэлементы

### Введение и постановка проблемы

Подземные воды являются одним из компонентов окружающей среды тесно связанным и испытывающим взаимовлияние с другими компонентами, такими, как: литосфера, атмосфера, почвенный покров и поверхностные воды [5].

Формирование качества подземных вод происходит как под влиянием природных (водовмещающие породы), так и антропогенных факторов. К последним относятся загрязненные атмосферные осадки, минеральные и органические удобрения, свалки ТБО И ТКО, переотложенные техногенные отложения и другие. Эти источники вносят в природную среду целый ряд загрязнителей различных классов опасности: анионы сильных кислот, тяжелые металлы, биогены и другие [3]. Подземные воды – один из источников питания поверхностных вод, поэтому исследование их химического состава является важной научно-практической задачей. К химическому составу и качеству подземных вод, используемых для питьевого водоснабжения, предъявляются высокие требования, поэтому важно проводить

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках темы 124032100076-2 Государственного задания ИБВВ РАН и в рамках темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания ИВП РАН.

регулярные наблюдения за такими водными объектами. В условиях изменяющейся антропогенной нагрузки и климатических изменений качество воды подземных вод может претерпевать существенные изменения.

Объектами нашего исследования в течение многих лет является Ивановское водохранилище, его притоки и подземные воды на их водосборе.

Ивановское водохранилище – крупный водоем, второй зарегулированный на реке Волге. В соответствии с [10], статический объем водохранилища при нормальном подпорном уровне (НПУ) составляет 1220 млн. м<sup>3</sup>, площадь водного зеркала – 316 км<sup>2</sup>, длина – 120 км, средняя ширина – 4 км, средняя глубина – 4 м.

Геологические и гидрогеологические условия исследуемой территории представлены в [1, 2, 7, 9]. В публикациях [1, 7, 9] анализируется химический состав подземных вод в прибрежной зоне Ивановского водохранилища с 90-х годов прошлого столетия по 2017 г. нынешнего. В статье [8] проводится анализ изменения состояния химического состава воды малых притоков Ивановского водохранилища и подземных вод на их водосборах в зимний период за 20-летний период с 1999 по 2019 гг.

Предыдущие исследования показали, что наиболее приближенную к реальности картину состояния подземных вод дают режимные наблюдения за родниками [4, 6, 7], поэтому в данной статье анализируются только данные по химическому составу воды опробованных родников.

Цель работы – детальное исследование родников, расположенных на разных участках береговой зоны Ивановского водохранилища и его малых притоков, для изучения их современного химического состава воды и внутригодового изменения содержания главных ионов, биогенных элементов и тяжелых металлов.

### **Методика исследований**

Опробование родников производилось в 2022 г. с апреля по декабрь и в 2023 г. с февраля по ноябрь. В пробах воды ежемесячно определялись такие показатели как: рН, электропроводимость, цветность, перманганатная окисляемость (ПО), минеральные формы азота и фосфора, общий фосфор, микроэлементы. Щелочность (Щ), жесткость (Ж), главные ионы (НСО<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>), минерализация воды (М) определялись раз в сезон (зимняя межень, весеннее половодье, летняя межень, осенние паводки).

Из микроэлементов в воде определялись: железо общее (Fe), марганец (Mn), цинк (Zn), свинец (Pb), медь (Cu), никель (Ni), кадмий (Cd).

Химический анализ отобранных проб воды выполнен в аккредитованной химической лаборатории Иваньковской НИС Института водных проблем РАН по аттестованным методикам.

Полученные значения определяемых показателей и ингредиентов сравнивались с предельно-допустимыми концентрациями (ПДК<sub>п</sub>) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ГН 2.1.5.1315-03) и в соответствии с требованиями к качеству воды нецентрализованного (СанПиН 2.1.4.1175-02) и централизованного (СанПиН 2.1.4.1074-01) водоснабжения. Проведено также сравнение полученных результатов с данными опубликованными ранее другими авторами [7].

### Результаты исследования

Исследовано восемь родников, расположенных в береговой зоне Иваньковского водохранилища и ряда его малых притоков (рисунок).

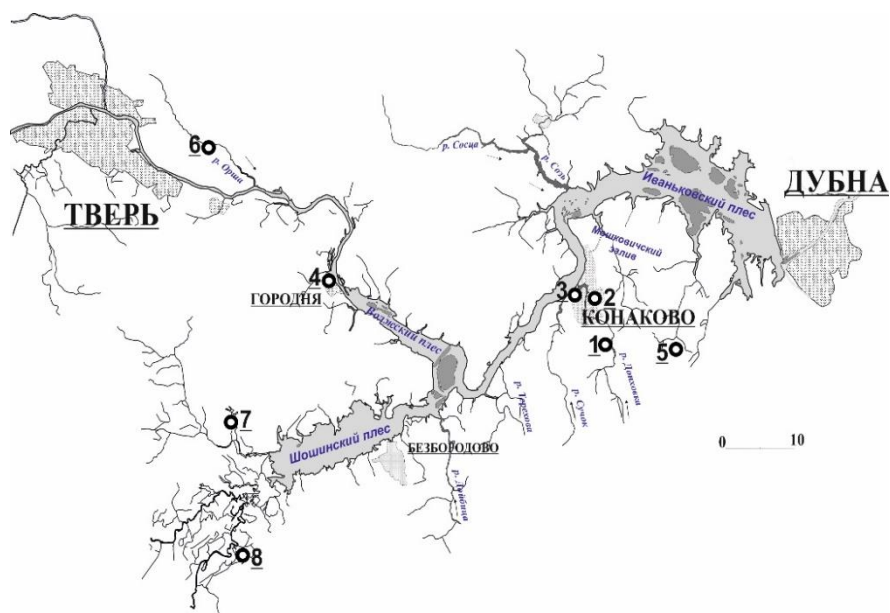


Рис. Карта-схема Иваньковского водохранилища и его притоков с пунктами наблюдений за химическим составом родников в 2022 и 2023 гг.

Родники: 1 – с. Селихово (р. Донховка); 2 – г. Конаково, у школы №6 (р. Донховка); 3 – г. Конаково, бор (берег водохранилища); 4 – с. Городня (берег водохранилища); 5 – д. Сенинское (водосбор р. Тропка); 6 – д. Савватьево (р. Орша); 7 – д. Дмитрово (р. Инюха, Шошинский плес); 8 – п.г.т. Козлово (р. Котевля, Шошинский плес).

Родник в с. Селихово (см. рис.) каптирован в виде колодца, расположен возле уреза на левом берегу р. Донховки, малого

правобережного притока Иваньковского водохранилища. Фигурирует в [7], как родник «Селихово».

Значение водородного показателя (рН) в воде родника в марте 2023 г. составило 6,8 ед. рН, в остальные дни отбора рН изменялся незначительно в интервале от 7,2 до 7,4 ед. рН, что близко к среднемноголетним значениям. Так в [7] рН в воде родника изменялся за многолетний период в интервале от 6,47 до 8,06 ед. рН при среднем значении 7,1 ед. рН. Диапазон величин жесткости воды по нашим данным составил: 8,8 (февраль)-10,4 мг-экв/дм<sup>3</sup> (октябрь), что соответствует категории «жесткая» - «очень жесткая». Цветность воды во все сезоны не превышала 5 градусов Сг-Со шкалы цветности.

Минерализация воды в роднике в 2023 г. варьировала незначительно в течение года: от 801 мг/дм<sup>3</sup> в феврале до 885 мг/дм<sup>3</sup> в октябре. Диапазон изменения минерализации в [7] составил 364-946 мг/дм<sup>3</sup>. Очевидно, низкие значения отмечались в период половодья, когда родник подпитывался водами р. Донховки.

Диапазон концентраций гидрокарбонатного аниона (НСО<sub>3</sub><sup>-</sup>) в течение года составил 408,8-488,2 мг/дм<sup>3</sup>, иона кальция (Са<sup>2+</sup>) – 110,6-164,3 мг/дм<sup>3</sup>, иона магния (Mg<sup>2+</sup>) – 22,4-44,8 мг/дм<sup>3</sup>, сульфат-аниона (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) – 65,6-121,7 мг/дм<sup>3</sup>, хлорид-аниона (Сl<sup>-</sup>) – 48,6-57 мг/дм<sup>3</sup>, иона натрия (Na<sup>+</sup>) – 27-42 мг/дм<sup>3</sup>, иона калия (K<sup>+</sup>) – 9,9-32 мг/дм<sup>3</sup>.

Родник в черте г. Конаково у школы №6 (родник «Школа») (см. рис.) расположен на правом берегу р. Донховки, в 7,5 м от уреза воды и на 0,6 м выше уреза реки [7].

В воде родника водородный показатель в течение года изменялся незначительно: от 7,0 до 7,3 ед. рН. Цветность воды, в основном, составляла 5 градусов Сг-Со шкалы цветности. Вода отличалась очень высокой жесткостью (11,6–12,6 мг-экв/дм<sup>3</sup>) и лишь в период половодья величина жесткости воды снизилась до 6,7 мг-экв/дм<sup>3</sup> за счет подтопления родника речными водами. Минерализация воды изменялась в широком диапазоне: от 543 мг/дм<sup>3</sup> в апреле до 1200 мг/дм<sup>3</sup> в октябре, что вполне согласуется с многолетними данными авторов [7]. Концентрации главных ионов в течение года изменялись также значительно. Во все даты отбора самыми высокими были концентрации гидрокарбонатного иона. В период половодья и осенних паводков концентрации сульфат-аниона (соответственно 107 и 205,3 мг/дм<sup>3</sup>) превышали концентрации иона кальция (соответственно 94,8 мг/дм<sup>3</sup> и 166,7 мг/дм<sup>3</sup>).

Родник «Бор» (см. рис.), расположен в «Лесопарке Конаковский», являющимся памятником регионального значения, на расстоянии примерно 125 м от уреза Иваньковского водохранилища. Представляет собой групповой выход из трех труб, установленных по

сторонам ложбины, шириной 250 м на крутом склоне и спускающейся к Волге [7]. Вскрывает аллювиальный водоносный горизонт [8].

Среднегодовая величина минерализации воды родника изменялась в период с 1999 по 2013 г. от 193 мг/дм<sup>3</sup> (2011 г.) до 287 мг/дм<sup>3</sup> (2001 г.), значения рН варьировали от 5,57 до 7,99 ед. рН, диапазон цветности составил 25 град. Сr-Co шкалы цветности [7]. Минерализация воды родника в течение 2023 г. изменялась в более узком диапазоне: от 229 мг/дм<sup>3</sup> (февраль) до 265 мг/дм<sup>3</sup> (октябрь). Значение рН варьировало незначительно, от 7 ед. рН (февраль) до 7,6 ед. рН (март), а цветность не превышала 10 град. Сr-Co шкалы цветности.

Концентрация гидрокарбонатного аниона в течение года изменялась от 152,5 мг/дм<sup>3</sup> в феврале и апреле до 176,9 мг/дм<sup>3</sup> в июле и октябре, иона кальция – от 36,9 мг/дм<sup>3</sup> (май) до 44,9 мг/дм<sup>3</sup> (апрель), иона магния – от 9 мг/дм<sup>3</sup> (май) до 16,5 мг/дм<sup>3</sup> (октябрь), сульфат-аниона – от 8,4 мг/дм<sup>3</sup> (октябрь) до 18,6 мг/дм<sup>3</sup> (июль), хлорид-аниона – от 3,2 мг/дм<sup>3</sup> (июль) до 6,4 мг/дм<sup>3</sup> (октябрь), иона натрия – от 2,4 мг/дм<sup>3</sup> (февраль) до 7,7 мг/дм<sup>3</sup> (октябрь), иона калия – от 0,7 мг/дм<sup>3</sup> (февраль, май) до 1,2 (октябрь) мг/дм<sup>3</sup>.

Родник в Городне (см. рис.), по [7] «Городня», расположен на высоте 10-12 м от уреза правого берега Иваньковского водохранилища, является выходом флювиогляциального водоносного горизонта [8].

Водородный показатель воды родника в 2023 г. колебался в интервале 7,3-7,5 ед. рН, только иногда достигая 8,3 ед. рН (март), что указывает на слабощелочную и щелочную реакцию. Вода очень жесткая, в основном, выше 9,0 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Средняя многолетняя величина минерализации воды родника составляет 870 мг/дм<sup>3</sup> [7]. В 2023 г. минерализация воды варьировала от 674 мг/дм<sup>3</sup> в феврале до 820 мг/дм<sup>3</sup> в октябре, т.е. была несколько ниже средней многолетней. Цветность воды, в основном, не превышала 5 градусов Сr-Co шкалы цветности.

Концентрация гидрокарбонатного аниона в течение 2023 г. изменялась от 293 мг/дм<sup>3</sup> в феврале до 477,6 мг/дм<sup>3</sup> в октябре. Концентрация иона кальция варьировала от 118,6 мг/дм<sup>3</sup> (июль) до 132,9 мг/дм<sup>3</sup> (февраль), иона магния – от 27,7 мг/дм<sup>3</sup> (июль) до 41,9 мг/дм<sup>3</sup> (апрель), сульфат-аниона – от 35,4 мг/дм<sup>3</sup> (октябрь) до 81 мг/дм<sup>3</sup> (февраль), хлорид-аниона – от 53,7 мг/дм<sup>3</sup> (июль) до 68,3 мг/дм<sup>3</sup> (май), иона натрия – от 34,3 мг/дм<sup>3</sup> (апрель) до 68 мг/дм<sup>3</sup> (июль), иона калия – от 15,4 мг/дм<sup>3</sup> (май) до 46 (октябрь) мг/дм<sup>3</sup>.

Родник у д. Сенинское (см. рис.) расположен на водосборе р. Тропка, на окраине деревни с одноименным названием, у дороги от г. Конаково к 1-й паромной переправе канала им. Москвы. Минерализация воды родника колебалась в течение года

несущественно: от 465 мг/дм<sup>3</sup> в июле до 489 мг/дм<sup>3</sup> в декабре. Значение рН в течение года не изменялось и равнялось во все сроки отбора 7,7 ед. рН, что указывает на слабощелочную реакцию. Вода, в основном, соответствовала категории «жесткая» (6,6–7,5 мг-экв/дм<sup>3</sup>). Цветность воды не превышала 5 град. Сг-Со шкалы цветности.

Концентрация гидрокарбонатного аниона в течение года изменялась от 238 мг/дм<sup>3</sup> в апреле до 256,3 мг/дм<sup>3</sup> в мае, иона кальция – от 78,6 мг/дм<sup>3</sup> (июль) до 107,6 мг/дм<sup>3</sup> (апрель), иона магния – от 16,5 мг/дм<sup>3</sup> (октябрь) до 35,9 мг/дм<sup>3</sup> (май), сульфат-аниона – от 25,7 мг/дм<sup>3</sup> (апрель) до 42,1 мг/дм<sup>3</sup> (июль), хлорид-аниона – от 49,3 мг/дм<sup>3</sup> (июль) до 68 мг/дм<sup>3</sup> (апрель), иона натрия – от 6,7 мг/дм<sup>3</sup> (июль) до 26 мг/дм<sup>3</sup> (октябрь), иона калия – от 2 мг/дм<sup>3</sup> (февраль) до 8,3 мг/дм<sup>3</sup> (октябрь).

В течение многих лет ведутся наблюдения за Савватьевским родником, расположенными на правом берегу р. Орши у пос. Савватьево, примерно в 8 км на восток от г. Твери (см. рис.). Представляет собой крупный пластовый выход из аллювиальных отложений речной террасы [7]. В половодье родник затапливается.

Минерализация воды в течение года изменялась от 381 мг/дм<sup>3</sup> в феврале до 621 мг/дм<sup>3</sup> в июле. Вода отличается «умеренной» жесткостью. Величина жесткости изменялась от 4,1 мг-экв/дм<sup>3</sup> в октябре до 6,5 мг-экв/дм<sup>3</sup> в начале апреля. Цветность воды была более высокой, чем в других исследованных родниках, и изменялась от 10–15 градусов Сг-Со шкалы цветности в большинстве дат отбора до 20 градусов Сг-Со шкалы цветности в октябре. Значения рН колебались в интервале 7,4–7,7 ед. рН (слабощелочная реакция).

Концентрация гидрокарбонатного аниона в течение года изменялась от 201,4 мг/дм<sup>3</sup> в феврале до 244,1 мг/дм<sup>3</sup> в мае и июле, иона кальция – от 57,7 мг/дм<sup>3</sup> (февраль, октябрь) до 74 мг/дм<sup>3</sup> (май), иона магния – от 14,6 мг/дм<sup>3</sup> (октябрь) до 31,4 мг/дм<sup>3</sup> (апрель), сульфат-аниона – от 14,1 мг/дм<sup>3</sup> (февраль) до 25,2 мг/дм<sup>3</sup> (апрель), хлорид-аниона – от 45,4 мг/дм<sup>3</sup> (октябрь) до 130,6 мг/дм<sup>3</sup> (май), иона натрия – от 27 мг/дм<sup>3</sup> (февраль) до 135 мг/дм<sup>3</sup> (июль), иона калия – от 1,9 мг/дм<sup>3</sup> (май) до 4,5 (октябрь) мг/дм<sup>3</sup>.

В пгт Козлово отбор проб воды осуществлялся из родника, расположенного на правом берегу р. Котевля, впадающей в Шошинский плес Иваньковского водохранилища, в 5 м от уреза (см. рис.). Расстояние от родника до водохранилища примерно 3 км.

Химический анализ проб воды отобранных в течение года показал, что минерализация воды изменяется от 417 мг/дм<sup>3</sup> в мае до 603 мг/дм<sup>3</sup> в декабре. Величина рН варьировала от 7,4 до 7,8 ед. рН, жесткость была высокой и варьировала от 6,0 мг-экв/дм<sup>3</sup> в апреле до 8,4 мг-экв/дм<sup>3</sup> в октябре. Цветность воды не превышала 10 град. Сг-Со

шкалы цветности в зимнюю и летнюю межень, а в период половодья и дождливых паводков достигала 20-25 град. Сг-Со шкалы цветности.

Концентрация гидрокарбонатного аниона изменялась в течение года от 244,1 мг/дм<sup>3</sup> (май) до 408,8 мг/дм<sup>3</sup> (октябрь). Концентрация иона кальция варьировала от 71,5 мг/дм<sup>3</sup> (июль) до 101 мг/дм<sup>3</sup> (февраль, октябрь); иона магния – от 23,7 мг/дм<sup>3</sup> (февраль) до 40,9 мг/дм<sup>3</sup> (октябрь); сульфат-аниона – от 20,8 мг/дм<sup>3</sup> (апрель) до 39,6 мг/дм<sup>3</sup> (май); хлорид-аниона – от 4,5 мг/дм<sup>3</sup> (октябрь) до 7,5 мг/дм<sup>3</sup> (апрель); иона натрия – от 8 мг/дм<sup>3</sup> (февраль) до 16 мг/дм<sup>3</sup> (июль); иона калия – от 3,1 мг/дм<sup>3</sup> (апрель) до 13 (июль) мг/дм<sup>3</sup>.

Впервые был изучен химический состав воды родника у д. Дмитрово на берегу р. Инюха впадающей в Шошинский плес водохранилища. Родник расположен на левом берегу, на I надпойменной террасе реки (см. рис.). Расстояние от родника до уреза водохранилища примерно 4,5 км. Местность вокруг родника сильно заболочена. Расстояние до ближайших домов, примерно, 100 м. В период половодья родник затапливается половодными водами, о чем свидетельствует высокая цветность воды в этот период (80-85 градусов Сг-Со шкалы цветности). В остальное время значения цветности изменялись в интервале: 7 град. Сг-Со шкалы цветности (декабрь) – 30 град. Сг-Со шкалы цветности (октябрь). Вода отличалась высокой жесткостью в феврале (8 мг-экв./дм<sup>3</sup>) и снижалась до «умеренно жесткой» в остальные даты отбора (4,8-6,0 мг-экв./дм<sup>3</sup>). Значение рН свидетельствуют о слабощелочной и щелочной реакции, и изменялось от 7,1 ед. рН (апрель) до 8,4 ед. рН (июль). Минерализация воды была самой высокой в феврале (602 мг/дм<sup>3</sup>), а в период весеннего половодья снижалась до 385 мг/дм<sup>3</sup>.

Концентрация гидрокарбонатного аниона в течение года изменялась от 274,6 мг/дм<sup>3</sup> (апрель, июль) до 427,1 мг/дм<sup>3</sup> (февраль). Концентрация иона кальция варьировала от 50,8 мг/дм<sup>3</sup> (февраль) до 65,5 мг/дм<sup>3</sup> (июль); иона магния – от 20,3 мг/дм<sup>3</sup> (июль) до 66,5 мг/дм<sup>3</sup> (февраль), сульфат-аниона – от 4,5 мг/дм<sup>3</sup> (октябрь) до 19,1 мг/дм<sup>3</sup> (февраль), хлорид-аниона – от 3,4 мг/дм<sup>3</sup> (апрель) до 7,7 мг/дм<sup>3</sup> (октябрь), иона натрия – от 5 мг/дм<sup>3</sup> (апрель) до 13 мг/дм<sup>3</sup> (февраль), иона калия – от 5,1 мг/дм<sup>3</sup> (май) до 17,4 (февраль) мг/дм<sup>3</sup>.

В период зимней межени химический состав подземных вод не подвержен загрязнению от внешних источников, поэтому рассмотрим основные гидрохимические характеристики родников в феврале 2023 г. (табл. 1). Из таблицы следует, что рН всех родников свидетельствует о нейтральной или слабощелочной реакции и хорошо согласуется с требованиями нормативных документов. Величина жесткости родников весьма различна. Наименьшая жесткость отмечена в роднике «Бор», а максимальная в роднике «Школа».

Цветность воды изученных родников, в основном, не превышает 5 градусов Ст-Со шкалы цветности и соответствует требованиям к источникам централизованного водоснабжения. Наиболее цветной (до 13 градусов) была вода родников «Городня» и «Козлово». Значения ПО, по СанПин 2.1.4.1074-1, не должны превышать 5 мгО/дм<sup>3</sup>, из табл. 1 видно, что только вода родника Козлово не отвечает этому требованию.

Таблица 1  
Показатели и ингредиенты химического состава воды исследуемых родников в феврале 2023 г.

Показатель	Родник							
	1	2	3	4	5	6	7	8
рН, ед. рН	7,3	7,2	7,0	7,3	7,7	7,4	7,6	7,4
Ж, мг-экв./дм <sup>3</sup>	8,8	11,7	3,2	9,9	7,4	4,7	8,0	7,0
Цв., град.	5	5	5	3	5	10	7	13
ПО, мгО/дм <sup>3</sup>	1,4	1,9	1,2	1,2	0,9	3,0	1,2	7,2
М, мг/дм <sup>3</sup>	801	702	229	674	489	381	602	567
НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	433,2	280,7	152,5	292,9	244,1	201,4	427,1	390,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	121,7	104,1	9,8	81,0	29,2	14,1	9,1	27,7
Сl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	48,9	76,4	3,4	60,3	59,0	52,9	4,0	6,7
Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	121	144,6	42,2	132,9	101,6	57,8	50,8	101,6
Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	33,1	54,5	13,3	40,2	28,5	21,8	66,6	23,7
Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	27	34	2,4	39	18,5	27	13	8
K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	10	2,9	0,7	22,3	2,0	2,2	17,4	3,5

Примечание: Родники: 1 – с. Селихово (р. Донховка); 2 – г. Конаково, у школы №6 (р. Донховка); 3 – г. Конаково, бор (берег водохранилища); 4 – с. Городня (берег водохранилища); 5 – д. Сенинское (водосбор р. Тропка), 6 – д. Саватьево (р. Орша), 7 – д. Дмитрово (р. Инюха. Шошинский плес), 8 – п.г.т. Козлово (р. Котевля, Шошинский плес).

Значения минерализации не превышают нормативных значений, наибольшая величина наблюдается в роднике «Городня», а наименьшая в роднике Бор».

Для сопоставления вод с различной минерализацией и выяснения возможных соотношений между ионами удобна процент-эквивалентная форма. В таблице 2 представлены концентрации исследованных родников в %-экв. форме. Для вычисления сумма анионов и катионов была принята за 100%.



Анализ результатов, представленных в таблице 2, показал, что в воде родников «Школа», «Городня» и «Сенинское», доля иона кальция выше, чем гидрокарбонатного аниона. Вода родника «Дмитрово» отличается высоким содержанием иона магния. В воде родников «Сенинское» и «Савватьево» доля хлорид-аниона выше, чем сульфат-аниона.

Таблица 2

Концентрации (%-экв.) главных ионов в воде исследованных родников в феврале 2023 г.

Показатель	Родник							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$\text{HCO}_3^-$	34	22	41	24	28	30	42	44
$\text{SO}_4^{2-}$	12	10	3	8	4	3	3	4
Cl	6	10	1	8	11	14	0,6	1
$\text{Ca}^{2+}$	28	35	34,5	33	35	26	15	35
$\text{Mg}^{2+}$	13	22	18	16	16	16	33	13
$\text{Na}^+$	6	0,7	2	8	5,5	10,5	4	2
$\text{K}^+$	1	0,3	0,5	3	0,5	0,5	2,4	1

Примечание: Родники: 1 – с. Селихово (р. Донховка); 2 – г. Конаково, у школы №6 (р. Донховка); 3 – г. Конаково, бор (берег водохранилища); 4 – с. Городня (берег водохранилища); 5 – д. Сенинское (водосбор р. Тропка), 6 – д. Савватьево (р. Орша), 7 – д. Дмитрово (р. Инюха. Шошинский плес), 8 – п.г.т. Козлово (р. Котевля, Шошинский плес).

В таблицах 3 и 4 представлены диапазоны изменения концентраций минеральных форм азота и фосфора и общего фосфора в воде исследованных родников.

Анализ полученных значений показал, что вода родника с. Селихова и родника «Школа» (см. табл. 3) отличается низкими концентрациями аммонийного и нитритного азота, а также общего и минерального фосфора во все сезоны года. Концентрации нитратного азота в воде родника «Селихово» довольно высоки, хотя и не превышают ПДК<sub>п</sub> (10,2 мгN/дм<sup>3</sup>) для водных объектов централизованного водоснабжения.

Сравнение с данными [7] показало, что концентрации иона-аммония, нитрит- и нитратного анионов, отмеченные в воде родников в 2023 г., были ниже среднеемноголетних. Концентрации общего фосфора в 2023 г. во все месяцы наблюдений были ниже среднеемноголетних, а концентрации фосфатов выше средних многолетних.

В воде родника «Школа» зафиксированные концентрации биогенных элементов были ниже среднеемноголетних, за исключением фосфат-иона.

Таблица 3

Диапазоны концентраций минеральных форм азота и общего и минерального фосфора в воде исследуемых родников в 2023 г.

Показатель	Родник			
	1	2	3	4
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мгN/дм <sup>3</sup>	0,002-0,09	0,01-0,23	0,01-0,14	0,01-0,05
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мгN/дм <sup>3</sup>	0,02-0,06	0,001-0,028	0,001-0,02	0,002-0,05
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мгN/дм <sup>3</sup>	2,6-6,0	0,88-2,44	0,04-0,34	5,2-12,8
P <sub>общ.</sub> , мгP/дм <sup>3</sup>	0,02-0,07	0,03-0,1	0,07-0,11	0,11-0,16
P <sub>мин.</sub> , мгP/дм <sup>3</sup>	0,01-0,03	0,02-0,04	0,06-0,09	0,09-0,11

Примечание: Родники: 1 – с. Селихово (р. Донховка), 2 – г. Конаково, у школы №6 (р. Донховка), 3 – г. Конаково, бор (берег водохранилища), 4 – с. Городня (берег водохранилища)

В воде родника «Бор» все измеренные в 2023 г. концентрации форм минерального азота и общего фосфора были низки (см. табл. 3). Сумма минеральных форм азота в течение 2023 г. изменялась от 0,07 мг/дм<sup>3</sup> в сентябре до 0,36 мг/дм<sup>3</sup> в ноябре. Наименьшая величина среднегодовой концентрации общего минерального азота в период с 1997 по 2013 гг. изменялась от 0,12 мг/дм<sup>3</sup> (2011) до 1 мг/дм<sup>3</sup> (2009 г.) [7]. Таким образом, зафиксированные нами концентрации общего минерального азота сопоставимы с полученными ранее авторами [7]. Отмеченные в воде родников в 2023 г. концентрации общего фосфора были или на уровне, или чуть выше средних многолетних, а концентрации фосфат-иона превышали среднемноголетние значения.

В воде родника с. Городня почти во все даты наблюдений, кроме апреля и сентября, отмечены концентрации нитратного азота, превышающие ПДК<sub>п</sub>. В воде этого родника отмечены также более высокие концентрации минерального фосфора, чем в воде трех родников, указанных выше. В воде родника «Городня» отмечено снижение концентраций нитрат-аниона за многолетний период. Концентрации общего фосфора были или чуть выше, или на уровне среднемноголетних значений. Концентрации фосфат-иона превышали среднемноголетние значения, приведенные в [7].

В воде родника у д. Сенинское отмечены высокие концентрации нитратного азота, минерального и общего фосфора (см. табл. 4), что объясняется влиянием внесения удобрений на близлежащие сельхозполя. Высокие концентрации нитратного азота характерны также для Савватьевского родника и родника в п.г.т. Козлово (см. табл. 4). В воде Савватьевского родника отмечается превышение ПДК<sub>п</sub> для аммонийного азота (1,5 мгN/дм<sup>3</sup>), что объясняется влиянием болотных вод, поступающих с прилегающей заболоченной территории в

период весеннего половодья и летне-осенних паводков. Вода родника у д. Дмитрово отличается невысокими концентрациями минеральных форм азота и повышенными в отдельные месяцы концентрациями фосфатов.

Таблица 4

Диапазоны концентраций минеральных форм азота и общего и минерального фосфора в воде исследуемых родников в 2023 г.

Показатель	Родник			
	5	6	7	8
$N-NH_4^+$ , мгN/дм <sup>3</sup>	0,002-0,07	0,4-2,14	0,02-0,04	0,02-0,10
$N-NO_2^-$ , мгN/дм <sup>3</sup>	0,001-0,01	0,02-0,21	0,003-0,02	0,008-0,10
$N-NO_3^-$ , мгN/дм <sup>3</sup>	4,3-10,3	2,4-5,7	0,005-0,66	3,3-11,7
$P_{общ.}$ , мгP/дм <sup>3</sup>	0,14-0,21	0,05-0,07	0,02-0,18	0,07-0,19
$P_{мин.}$ , мгP/дм <sup>3</sup>	0,13-0,15	0,03-0,07	0,01-0,21	0,005-0,15

Примечание: Родники: 5 – д. Сенинское (водосбор р. Тропка), 6 – д. Савватьево (р. Орша), 7 – д. Дмитрово (р. Инюха. Шошинский плес), 8 – п.г.т. Козлово (р. Котевля, Шошинский плес).

В таблицах 5-6 представлены диапазоны изменения концентраций микроэлементов в воде родников. Установлено, что концентрации железа общего не превышали ПДК для источников централизованного водоснабжения. Концентрации марганца, превышающие ПДК<sub>п.</sub>, были отмечены в воде родников у деревень Савватьево (июнь, июль) и Дмитрово (июнь, сентябрь, ноябрь).

Таблица 5

Диапазоны концентраций (мкг/дм<sup>3</sup>) микроэлементов в воде исследуемых родников в 2023 г.

Показатель	Родник				ПДК <sub>п.</sub>
	1	2	3	4	
Fe	10-60	20-50	20-50	20-30	300
Mn	29-76	10-20	10-40	6-28	100
Zn	12-38	7-31	1-36	6-30	5000
Pb	3-68	5-80	2-30	2-26	30
Cu	2-24	2-25	1-34	2-15	1000
Ni	1-25	4-26	0,3-8	3-21	100
Cd	0,3-4	0,5-4	0,1-3	0,4-3	1

Примечание: Родники: 1 – с. Селихово (р. Донховка), 2 – г. Конаково, у школы №6 (р. Донховка), 3 – г. Конаково, бор (берег водохранилища), 4 – с. Городня (берег водохранилища)

Таблица 6

Диапазоны концентраций (мкг/дм<sup>3</sup>) микроэлементов  
в воде исследуемых родников в 2023 г.

Показатель	Родник				ПДК <sub>п</sub>
	5	6	7	8	
Fe	20-30	2-60	-	20-60	300
Mn	4-16	39-115	22-184	17-80	100
Zn	3-31	10-23	3-31	11-31	5000
Pb	4-84	0,4-38	0,4-84	2-32	30
Cu	2-21	0,8-17	2-21	6-18	1000
Ni	0,3-14	2-83	0,3-14	0,6-16	100
Cd	1-4	0,2-3	0,8-4	0,4-4	1

Примечание: Родники: 5 – д. Сенинское (водосбор р. Тропка), 6 – д. Савватьево (р. Орша), 7 – д. Дмитрово (р. Инюха. Шошинский плес), 8 – п.г.т. Козлово (р. Котевля, Шошинский плес).

Концентрации цинка, меди и никеля не превышали нормативных значений. Концентрации свинца не превышали ПДК<sub>п</sub> только в воде двух родников («Бор» и «Городня»). В воде остальных родников в отдельные месяцы, особенно в период летне-осенних паводков, отмечались концентрации ПДК<sub>п</sub>, превышающие ПДК<sub>п</sub> для водных объектов централизованного водоснабжения. В отдельные месяцы 2023 г. были зафиксированы концентрации кадмия, превышающие ПДК<sub>п</sub>.

В 2022-2023 гг. по сравнению с данными [7] более высокие концентрации цинка, меди и никеля наблюдались в родниках «Городня» и «Школа» (табл. 7).

Более высокие, чем ранее, концентрации марганца отмечены в воде Савватьевского родника (см. табл. 7). Концентрации свинца были выше значений в [7] в воде родников «Городня», «Бор», «Савватьево» и «Школа».

Таблица 7

Микроэлементный состав воды родников (мкг/дм<sup>3</sup>) в летнюю  
межень 2007 г. (данные [7])/2022/2023 г. (данные авторов)

Показатель	Родник			
	Городня	Бор	Савватьево	Школа
Zn	0,7/48/23	26/27/18	86/32/23	4/17/7
Ni	3/6/4	6/3/2	0,8/8/3	2/6/9
Cu	1,7/8/12	15/9/6	5/17/9	7/8/18
Mn	31/18/28	9/1/20	8/44/115	6/18/12
Pb	0,2/19/22	2/2/12	2/12/8	0,1/27/31

### Выводы

Исследования 2022-2023 гг. показали, что концентрации главных ионов опробованных родников изменяются в течение года. Величины

минерализации воды родников различны, но вполне согласуются с данными, полученными ранее авторами [7].

По сравнению с началом 2000-х годов изменились значения рН в воде родников. В воде всех исследованных родников были зафиксированы значения рН, свидетельствующие о нейтральной, слабощелочной или щелочной реакции. Закисления воды, как в конце 90-х годов прошлого столетия, в большинстве исследованных родниках не наблюдалось.

На сельскохозяйственно освоенных участках водосбора в подземной воде по-прежнему наблюдаются высокие концентрации нитратного азота.

В воде большинства обследованных родников отмечены концентрации фосфатов, превышающие среднемноголетние значения.

Вызывает тревогу возрастание в воде родников концентраций свинца.

Полученные данные могут быть в дальнейшем использованы при моделировании поступления загрязняющих веществ с подземными водами в поверхностные водные объекты, особенно в малые реки.

*Благодарности. Выражаем благодарность сотрудникам Ивановской НИС Института водных проблем РАН И.Л. Трошиной и Л.П. Федоровой, а также сотруднику Национального парка «Государственный комплекс «Завидово»» С.А. Егорову за помощь в отборе проб воды.*

### Список литературы

1. Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е., Лола М.В. Экологическое состояние природных вод водосбора Ивановского водохранилища и пути по сокращению их загрязнения. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 240 с.
2. Ахметьева Н.П., Лола М.В., Горецкая А.Г. Загрязнение грунтовых вод удобрениями. М.: Наука, 1991. 100 с.
3. Григорьева И.Л., Ланцова И.В., Тулякова Г.В. Геоэкология Ивановского водохранилища и его водосбора. Тверь: Издательский дом «Булат», 2000. 248 с.
4. Злобина В.Л., Медовар Ю.А., Юшманов И.О. Трансформация состава и свойств подземных вод при изменении окружающей среды. М.: изд-во "Мир науки". 2017. UR//<http://izd-mn.com/PDF/21MNNPM17.PDF>
5. Ковалевский В.С. Влияние изменений гидрогеологических условий на окружающую среду. М.: Наука, 1994. 138 с.
6. Ковалевский В.С. Комбинированное использование ресурсов поверхностных и подземных вод. М.: Научный мир, 2001. 332 с.
7. Лапина Е.Е., Ахметьева Н.П., Кудряшова В.В. Родники долины верхней Волги и ее притоков: условия формирования, режим, охрана. Тверь: Издательство ООО «Купол», 2014. 256 с.

8. Лапина И.Л., Григорьева И.Л. Ретроспективный анализ и прогнозные оценки изменения качества подземных вод вокруг Иваньковского водохранилища в зимний период//Российский журнал прикладной экологии. 2020. № 2. С. 17-22.
9. Лапина Е.Е., Чекмарева Е.А. Оценка современного состояния подземных вод в береговой зоне Иваньковского водохранилища и его притоков в зимний период//Вестник ТГУ. Серия «География и геоэкология». 2018. №3. С. 45-60.
10. Приказ Федерального агентства водных ресурсов Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 31 мая 2019 г., № 125.

*Об авторах:*

ГРИГОРЬЕВА Ирина Леонидовна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник. ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук» (152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, п. Борок, 109, e-mail: Irina\_Grigorieva@list.ru), ORCID: 0000-0003-2538-5931, SPIN-код: 1773-4053.

ЧЕКМАРЕВА Екатерина Александровна – младший научный сотрудник. ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», филиал «Иваньковская научно-исследовательская станция» (171251, Тверская обл., г. Конаково, Белавинская, д. 61-А, e-mail: s\_taya@list.ru), ORCID: 0000-0001-8097-3889, SPIN-код: 8317-2354.

## **Modern chemical composition of groundwater in the coastal zone of the Ivankovo reservoir and its small tributaries**

**I.L. Grigoryeva<sup>1</sup>, E.A. Chekmareva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences, Borok, Nekouzsky district, Yaroslavl region

<sup>2</sup> Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Konakovo, Tver region

To assess the current chemical composition of groundwater in the coastal zone of the Ivankovo reservoir and its small tributaries, eight springs were studied. There is a change in the concentrations of major ions, trace elements and biogenic elements in the water of the studied springs in 2023. The research data is comparable to the data obtained earlier. There are high concentrations of nitrate nitrogen and a number of trace elements in areas with intense anthropogenic load.

**Keywords:** *Ivankovo reservoir, small tributaries, springs, color, hardness, water mineralization, major ions, biogenic, trace elements.*

Рукопись поступила в редакцию 26.02.2025

Рукопись принята к печати 28.02.2025