

Виктория Григорьевна КАТАНАЕВА —

доцент кафедры органической
и экологической химии,

кандидат химических наук;

Сергей Иванович ЛАРИН —

декан эколого-географического факультета,

доцент кафедры экологического

мониторинга и земледелия,

кандидат географических наук;

Наталья Сергеевна ЛАРИНА —

доцент кафедры органической

и экологической химии,

кандидат химических наук;

Татьяна Витальевна ШЕВЕЛЕВА —

студентка 5 курса химического факультета

УДК 543:502.5

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОЗЕР ПОДТАЕЖНОГО ПРИИШИМЬЯ*

АННОТАЦИЯ. В статье приводятся результаты изучения газового режима, физико-химических параметров, макрокомпонентного состава и органического вещества поверхностных вод шести озер Викуловского района Тюменской области. Рассмотрена динамика типа вод, установлены корреляционные зависимости ионного состава вод, обсуждается природа органического вещества и источники формирования химического состава вод.

In article results of studying of a gas mode, physical and chemical parameters, macrocomponent structure and organic substance of superficial waters of six lakes Vikulovo area of the Tyumen region are resulted. Dynamic such as waters is considered, correlation dependences of ionic structure of waters are established, the nature of organic substance and sources of formation of a chemical compound of waters is discussed.

Озера Тоболо-Ишимской лесостепи Постановлением правительства РФ № 1050 от 13.09.1994 г. объявлены особо ценными водно-болотными угодьями международного значения и входят в список Рамсарской конвенции. Изучение их генезиса, современного состояния и динамики развития представляется весьма важным вопросом, требующим серьезных исследований. Целью данной работы являлся мониторинг гидрохимического состояния озер Викуловского района Тюменской области, установление корреляционных зависимостей ионного состава воды и источников его формирования.

В данном районе выделяются две обособленные группы озер — Озернинская и Чуртанская. Они различаются по площади, местоположению, особенностям питания и др. Озернинская группа состоит из 8 озер, расположенных на правом берегу р. Ишим, многие озера этой группы имеют связь с притоком р. Ишим — р. Барсук. Чуртанская группа, состоящая из 7 озер, расположена на левом берегу р. Ишим, озера этой группы имеют связь с р. Ишим через приток — р. Чуртанка. Берега озер чаще всего низкие, пологие, местами заболоченные, обрамлены полосой зарослей

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 04-05-65200 и по программе «Университеты России» № z3459-04.

из тростника, камыша и других представителей высших водных растений. Берега озер заняты пашней и лесом. В качестве объекта исследования были выбраны 4 озера Озернинской группы — Домашнее, Среднее, Ближнее Моховое, Варзанка (рис. 1а) и 2 озера Чуртанской группы — Большой и Малый Чуртан (рис. 1б). Гидрологическая характеристика озер приведена в табл. 1.



Рис. 1. Карта-схема района исследования озер Викуловского района:
1 – Домашнее, 2 – Среднее, 3 – Ближнее Моховое, 4 – Варзанка,
5 – Большой Чуртан, 6 – Малый Чуртан

Таблица 1

Гидрологическая характеристика обследованных озер [1]

| Озеро | Высота над уровнем моря*, м | Площадь, S, га | Максимальная глубина, h, м | h^{-1} , м ⁻¹ | Проточность и питание |
|-----------------|-----------------------------|----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Ближнее Моховое | 101,0 | 120 | 7,0 | 0,14 | Глухое. Родники. Весной имеет связь с оз. Варзанка. |
| Варзанка | | 35 | 1,8 | 0,56 | Глухое. Весной сточное – соединяется с р. Барсук копью и оз. Ближ. Моховым |
| Среднее | 99,6 | 140 | 13,5 | 0,07 | Глухое. Родники. |
| Домашнее | 98,5 | 135 | 6,0 | 0,17 | Весной сточное – соединяется с р. Барсук копью. |
| Большой Чуртан | 74 | 670 | 3,0 | 0,33 | Глухое. Весной соединяется копью с р. Чуртанка. |
| Малый Чуртан | 72,3 | 300 | 1,4 | 0,71 | Сточное. Вытекает р. Чуртанка. |

*Примечание: абсолютные отметки озер взяты с топокарт масштаба 1:100000, изданных в 1989 г.

Наблюдения проводились в октябре 2003 г. На озерах были отобраны пробы воды с поверхности (на глубине 30–40 см) и у дна. Проведено определение газового режима, физико-химических параметров, макрокомпонентов, биогенных элементов, органического вещества (всего 19 показателей). В табл. 2 приведен перечень контролируемых показателей поверхностных вод озер и методики их определения. Все результаты обрабатывались статистическими методами.

Макрокомпонентный состав. В табл. 3 представлены минимальные, максимальные и средние концентрации главных ионов поверхностных вод озер. В группе анионов преобладают ионы HCO_3^- , на их долю в среднем приходится 82–95% от общей суммы анионов. SO_4^{2-} и Cl^- ионы находятся в подчиненном состоянии по отношению к гидрокарбонат-иону, их содержание не превышает 2–3% — для оз. Домашнее и Среднее. Заметно возрастает содержание Cl^- -ионов в остальных озерах (10–13%), достигая 16% в самом загрязненном оз. Варзанка. В группе катионов доминируют $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, их доля составляет 83–89% от общей суммы катионов. На долю ионов магния и кальция приходится в среднем 7 и 9% соответственно. Высокие значения

соотношения $\frac{r(\text{HCO}_3^-)}{r(\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-)} = 22,4-14,9$; $\frac{r(\text{HCO}_3^-)}{r(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})} = 6,5$; $\frac{r(\text{HCO}_3^-)}{r(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})} = 6,5$ для

оз. Домашнее и оз. Среднее подтверждают ярко выраженный содовый тип этих озер.

Отличается от других оз. М. Чуртан повышенным соотношением $\frac{r(\text{HCO}_3^-)}{r(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})} = 10$

и $\frac{r(\text{HCO}_3^-)}{r(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})} = 6,5$.

Таблица 2

Перечень контролируемых показателей и методики их определения

| № п/п | Определяемый ингредиент | Методика определения | № п/п | Определяемый ингредиент | Методика определения |
|-------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1 | Растворенный кислород | Титриметрия РД 52.24.419-95 | 11 | NO ₂ ⁻ | Фотометрия ПНД Ф 14.1:2.3-95 |
| 2 | Сероводород | Фотометрия с N,N-диметил-п-фенилдиаминном РД 52.24.450-95 | 12 | NO ₃ ⁻ | Фотометрия ПНД Ф 14.1:2.4-95 |
| 3 | pH | Потенциометрия ПНД Ф 14.1:2.3:4.121-97 | 13 | Перманганатная окисляемость | Титриметрия НДП 10.1:2.27-96 |
| 4 | HCO ₃ ⁻ | Потенциометрическое титрование РД 52.24.493-95 | 14 | Бихроматная окисляемость | Титриметрия РД 52.24.421-95 |
| 5 | Ca ²⁺ | Титриметрия РД 52.24.403-95 | 15 | Удельная электрическая проводимость | Кондуктометрия РД 52.24.495-95 |
| 6 | Mg ²⁺ | Титриметрия ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000 | 16 | Жесткость | Титриметрия ПНД Ф 14.1:2.98-97 |
| 7 | Cl ⁻ | Титриметрия argentометрически ПНД Ф 14.1:2.96-97 | 17 | Железо | Фотометрия ПНД Ф 14.1:2.50-96 |
| 8 | SO ₄ ²⁻ | Титриметрия РД 52.24.401-95 | 18 | Марганец | Фотометрия ПНД Ф 14.1:2.61-96 |
| 9 | PO ₄ ³⁻ | Фотометрия ПНД Ф 14.1:2.112-97 | 19 | Медь | Инверсионная вольтамперометрия РД 52.24.371-95 |
| 10 | NH ₄ ⁺ | Фотометрия ПНД Ф 14.1.1-95 | | | |

Таблица 3

Концентрации главных ионов поверхностных вод озер Викуловского района (октябрь 2003 г.)

| Компонент | Домашнее | Среднее | Варзанка | Ближнее Моховое | Большой Чуртан | Малый Чуртан |
|----------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³ | <u>197-205</u> 201 | <u>183-213</u> 198 | <u>305-330</u> 317 | <u>190-208</u> 199 | <u>222-243</u> 232 | <u>257-277</u> 267 |
| SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³ | <u>2,1-9,9</u> 5,0 | <u>3,8-5,7</u> 4,6 | <u>4,1-8,3</u> 5,8 | <u>3,2-6,5</u> 4,1 | <u>6,5-14,8</u> 11,0 | <u>14,3-16,1</u> 14,9 |
| Cl ⁻ , мг/дм ³ | <u>7,9-10,2</u> 8,5 | <u>3,6-4,7</u> 4,2 | <u>61,1-63,3</u> 62,2 | <u>27,2-35,1</u> 30,5 | <u>27,2-28,6</u> 27,8 | <u>34,5-35,1</u> 34,8 |
| Ca ²⁺ , мг/дм ³ | <u>17,1-21,2</u> 19,1 | <u>10,7-13,4</u> 14,3 | <u>26,8-29,2</u> 28,0 | <u>12,1-19,4</u> 14,3 | <u>16,2-19,4</u> 17,7 | <u>9,7-10,2</u> 9,9 |
| Mg ²⁺ , мг/дм ³ | <u>10,6-13,4</u> 12,0 | <u>13,5-15,3</u> 14,1 | <u>15,4-17,5</u> 16,6 | <u>9,2-12,5</u> 10,0 | <u>12,5-14,5</u> 13,6 | <u>15,8-16,5</u> 16,2 |
| Жесткость, Ммоль экв/дм ³ | <u>1,89-1,98</u> 1,94 | <u>1,59-1,70</u> 1,62 | <u>2,69-2,83</u> 2,76 | <u>1,44-1,56</u> 1,54 | <u>1,97-2,11</u> 2,00 | <u>1,70-1,90</u> 1,80 |
| Общая минерализация, мг/дм ³ | <u>380-400</u> 394 | <u>359-386</u> 370 | <u>658-715</u> 696 | <u>396-406</u> 389 | 477 | <u>542-558</u> 550 |
| Na ⁺ + K ⁺ | 149 | 135 | 266 | 139 | 175 | 207 |

Примечание: над чертой — интервал концентраций, под чертой — среднее значение.

Общая минерализация изменяется в пределах 0,33–0,70 мг/дм³, что относит (по классификации В. С. Самарина) воды оз. Домашнее, Среднее, Ближнее Моховое и Большой Чуртан к классу пресных мягких, а оз. Варзанка и Малый Чуртан — к классу пресных жестких вод.

Установлены линейные формы связи между содержанием ионов HCO₃⁻, Na+K, Cl⁻ и минерализацией поверхностных вод.

$$C_{\text{HCO}_3^-} = 0,39 C_{\text{мин.}} - 20,81; R^2 = 0,994;$$

$$C_{\text{Na+K}} = 0,4123 C_{\text{мин.}} - 69,33; R^2 = 0,999$$

$$C_{\text{HCO}_3^-} = 1,0515 C_{\text{Na+K}} - 69,33; R^2 = 0,995;$$

$$C_{\text{Cl}^-} = 0,1787 C_{\text{мин.}} - 61,99; R^2 = 0,980;$$

где $C_{\text{HCO}_3^-}$, $C_{\text{Na+K}}$, C_{Cl^-} — содержание ионов HCO_3^- , $\text{Na} + \text{K}$, Cl^- соответственно, мг/дм^3 ; $C_{\text{мин.}}$ — общая минерализация, мг/дм^3 .

Полученные результаты указывают на высокую степень адекватности уравнений регрессии опытным данным и на существенный вклад ионов HCO_3^- и Na^+ в формирование типа воды. Отсутствовала корреляция между концентрациями HCO_3^- и $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ и $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ и минерализацией, что также подтверждает гидрокарбонатно-натриевый тип воды озер. Таким образом, поверхностные воды озер Викуловского района по классификации В. А. Сулина [2] относятся к гидрокарбонатному натриевому типу, гидрокарбонатной группы, натриевой подгруппы.

Характер изменения концентрации главных ионов озер Приишимья по многолетним наблюдениям 1961 г. [1] и 1986 г. [3] (рис. 2) указывает на переход вод от хлоридно-натриевых к гидрокарбонатно-натриевым содового типа.

Значения pH озерных вод хорошо согласуются с принадлежностью их к гидрокарбонатному классу. Наблюдается корреляция HCO_3^- и pH: $y = 84,36x - 476,06$, $r = 0,995$. Более высокие величины pH воды оз. Б. Чуртан, М. Чуртан, Варзанка соответствуют их повышенной минерализации. Среднее значение pH ($8,42 \pm 0,46$) характерно для поверхностных гидрокарбонатных вод, контактирующих с воздухом.

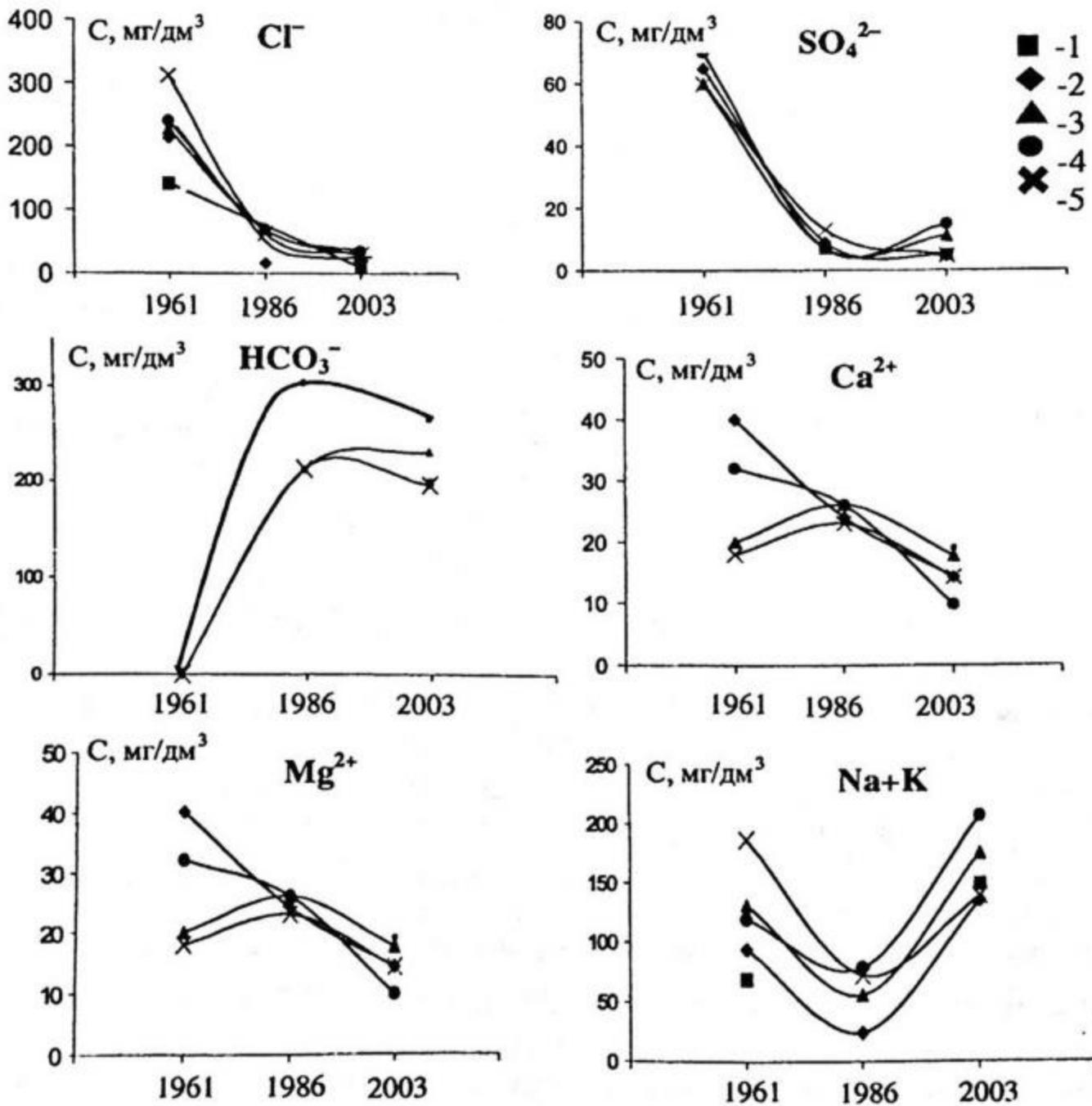


Рис. 2. Характер изменения концентраций главных ионов озер Приишимья по многолетним наблюдениям: 1 – оз. Домашнее, 2 – Среднее, 3 – Б. Чуртан

На формирование минерального состава вод озер определенное влияние оказывают р. Барсук в Озернинской системе озер и р. Чуртанка — в Чуртанской. Р. Барсук является правым притоком р. Ишим, связана копьё с оз. Варзанка и оз. Домашнее. Указанные озера находятся в с. Озерное и с. Ачимово, расположенных на берегу реки. По химическому составу воды реки Барсук карбонатные, хлоридные. Содержание компонентов (мг/дм³) следующее: рН = 7,6; O₂ — 7,5; Na + К — 98,5; Са — 62,1; Mg — 3,7; HCO₃⁻ 317,2; Cl⁻ — 148,9; SO₄²⁻ — 59,5; Σионов — 730,4; NH₄⁺ — 0,5; NO₃⁻ — 0,001; P — 1,005; Fe — 0,13 [4]. Оз. Варзанка испытывает более значительное влияние, чем оз. Домашнее (расстояние между озерами 9 км). Кроме этого, оно загрязняет своими водами в весеннее половодье по канавам глухое озеро Б. Моховое, расположенное в 2,5 км, что проявляется в нарушении корреляции минерализации с содержанием Cl⁻ (табл. 4).

Таблица 4

Некоторые физико-химические характеристики воды обследованных озер (октябрь 2003 г.)

| Компонент | Домашнее | Среднее | Варзанка | Ближнее Моховое | Большой Чуртан | Малый Чуртан |
|-------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| рН | <u>7,32-8,33</u> 8,00 | <u>7,90-8,40</u> 8,05 | <u>8,90-9,05</u> 8,95 | <u>7,62-8,31</u> 7,97 | <u>8,37-8,48</u> 8,42 | <u>8,71-8,89</u> 8,80 |
| Электропроводность* мкСм·см ⁻¹ | <u>380-398</u> 394 | <u>359-386</u> 370 | <u>658-715</u> 696 | <u>396-406</u> 389 | 477 | <u>542-558</u> 550 |
| Бихроматная окисляемость, мг/дм ³ | <u>12,0-24,8</u> 17,6 | Ст.1. <u>41-51</u> 31,6 Ст.2**. <u>17,1</u> 15,5 | <u>48,2-50,8</u> 49,8 | <u>17,6-27,1</u> 23,8 | <u>34,8-70,1</u> 57,3 | <u>60,2-74,6</u> 67,4 |
| Перманганатная окисляемость, мг/дм ³ | <u>4,3-4,6</u> 4,5 | <u>2,5-2,8</u> 2,7 | <u>5,9-7,4</u> 6,8 | <u>3,4-4,8</u> 4,4 | <u>2,9-4,8</u> 3,9 | <u>6,3-7,1</u> 6,6 |
| Цветность, градусы Рт-шкалы | <u>19-35</u> 27 | <u>26-28</u> 27 | <u>49-54</u> 51 | <u>35-43</u> 39 | <u>58-60</u> 59 | <u>63-65</u> 64 |
| Мутность***, мг/дм ³ | <u>0,12</u> 6,0 | <u>0,08</u> 1,13 | <u>6,6</u> 11,4 | <u>0,12</u> 1,38 | 3,8 | 3,4 |
| H ₂ S, мг/дм ³ | <u>3,0-7,7</u> 3,5 | <u>1,4-3,6</u> 3,5 | 14,5 | <u>2,2-4,2</u> 3,0 | 14,3 | 27,6 |
| Fe, мг/дм ³ | 0,18 | 0,12 | 0,25 | 0,18 | 0,22 | 0,27 |
| Mn, мг/дм ³ | 0,30 | 0,14 | 0,46 | 0,24 | 0,38 | 0,69 |
| Cu****, мкг/дм ³ | <u>51,8</u> 89,2 | <u>55,6</u> 156,8 | <u>24,7</u> 91,2 | Ст. 1,2 <u>69,6</u> 136,2 Ст. 3,4 <u>32,2</u> 96,8 | <u>15,6</u> 66,8 | <u>50</u> 259 |

* — удельная электропроводность воды;

** — над чертой — поверхностная вода, под чертой — на глубине 18 м;

*** — над чертой — у поверхности, под чертой — у дна;

**** — над чертой — концентрация свободных ионов меди, под чертой — общее содержание.

Влияние р. Чуртанка проявляется в изменении характера поступления ионов SO₄²⁻ в озера Чуртанской системы и их взаимодействия с ионами Ca²⁺. Для Озернинской системы озер существует экспоненциальная зависимость содержания ионов Ca²⁺ от содержания ионов SO₄²⁻: $y = 2,29 e^{0,4246x}$, $r = 0,958$, а для Чуртанской — обратно пропорциональная. В оз. М. Чуртан и Б. Чуртан поступает большее количество сульфатов, чем в систему озернинских озер и ионы Ca²⁺ реагируют с поступающими SO₄²⁻-ионами. Аналогичная картина наблюдается и для ионов HCO₃⁻.

Основными источниками питания озер являются поверхностный приток с водосбора в период весеннего половодья и осадки. Формирование химического состава определяется выщелачиванием почв и пород водосборных площадей, отвечающих содовой стадии гидрокарбонатно-натриевого рассоления. При поступле-

нии веществ в озера с атмосферными осадками существует связь между содержанием их в озерной воде (C_{os}) и отношением площади водоема к его объему или открытостью [5]. Средние глубины обследуемых озер неизвестны, поэтому в расчетах были использованы обратные величины максимальных глубин (h^{-1}). Зависимости вида $C_{os} = f(h^{-1})$ и коэффициенты корреляций для всех компонентов рассчитывали статистическими методами по данным табл. 3, 4. Выявлены три вида зависимостей: линейная, экспоненциальная и логарифмическая. Связь оказалась линейной

$$C_{os} = A + K (h^{-1}) \quad (1)$$

для компонентов: Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , $Na^+ + K^+$, pH, Mn. Коэффициенты уравнения (1) и коэффициенты корреляции для указанных компонентов приведены в табл. 5. Высокие значения коэффициентов корреляции (0,94–0,99) свидетельствуют о тесной связи между содержанием компонентов в воде с открытостью озера и аэрогенном поступлении их в озеро.

Зависимость удельной электропроводности поверхностных вод, содержания ионов аммония, фосфатов, хлоридов от открытости водоема имеет экспоненциальный, а для ионов железа — логарифмический характер. Это указывает на другие источники поступления этих ионов в водоем. Ими могут быть сток с водосбора и внутриводоемные процессы. Содержание меди не связано с открытостью водоема, что свидетельствует об отсутствии аэропереноса меди. Во всех случаях при экспоненциальном характере кривых наблюдается отклонение от зависимости для оз. М. Чуртан, что может быть связано с влиянием р. Чуртанка.

Таблица 5

Коэффициенты уравнения (1) и коэффициенты корреляции (r)
для исследованных компонентов

| Компонент | A | K | r |
|--------------|-------|-------|------|
| Ca | 12,26 | 28,34 | 0,97 |
| Mg | 9,63 | 10,58 | 0,97 |
| SO_4^{2-} | 3,47 | 16,92 | 0,96 |
| HCO_3^- | 184,5 | 115,8 | 0,98 |
| $Na^+ + K^+$ | 130,4 | 112,0 | 0,99 |
| pH | 7,75 | 2,06 | 0,97 |
| Mn | 0,19 | 0,55 | 0,99 |

Биогенные элементы. Содержание биогенных элементов в природных водах является одним из основных показателей их качества. Их концентрации и режим целиком зависят от интенсивности биохимических и биологических процессов, происходящих в водных объектах.

Среднемноголетние концентрации биогенных элементов в воде озер Приишмья представлены на рис. 3.



Рис. 3. Среднемноголетние концентрации биогенных элементов в воде озер Приишмья: 1 — NH_4^+ ; 2 — NO_2^- ; 3 — NO_3^- ; 4 — PO_4^{3-} ; 5 — $Fe_{общ}$

Содержание NO_3^- в водах озер в последние годы превалирует над остальными формами азота, что указывает на интенсивные процессы нитрификации в водоеме (табл. 6). Среднее содержание NO_3^- составляло 0,3–2,2 мг N/дм³. Содержание NO_2^- очень мало и составляет 0,002–0,007 мг N/дм³. Концентрация аммонийного азота в озерах изменяется в пределах 0,28–1,18 мг N/дм³ (табл. 6).

Таблица 6

Содержание неорганического азота и фосфора в обследованных озерах

| Озеро | NH_4^+ , N мг/дм ³ | NO_2^- , N мг/дм ³ | NO_3^- , N мг/дм ³ | $\text{N}_{\text{общ}}$ мг/дм ³ | PO_4^{3-} мг/дм ³ | $\text{P}_{\text{общ}}$ мг/дм ³ | N/P |
|--------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|----------|
| Домашнее | 0,34–0,98 0,55 0,43 | 0,010–0,061 0,025 0,007 | 1,39–1,75 1,55 0,35 | 0,79 | 0,048–0,106 0,061 | 0,020 | 34 |
| Среднее | 0,38–0,60 0,45 0,35 | 0,003–0,014 0,0102 0,0031 | 0,60–0,95 0,73 0,17 | 0,52 | 0,030–0,050 0,040 | 0,013 | 40 |
| Варзанка | 1,26–1,44 1,37 1,06 | 0,001–0,016 0,007 0,002 | 0,53–0,98 0,82 0,19 | 1,25 | 0,443–0,600 0,528 | 0,172 | 7 |
| Ближнее Моховое | 0,22–0,68 0,36 0,28 | 0,002–0,047 0,021 0,006 | 0,93–3,03 2,24 0,51 | 0,79 | Пов. 0,057 Дно 0,130 | 0,018 0,042 | 44 12 |
| Большой Чуртан | 0,41–0,59 0,49 0,38 | 0,014–0,030 0,022 0,007 | 0,30 | 0,69 | 0,110–0,200 0,153 | 0,05 | 14 |
| Малый Чуртан | 1,36–1,80 1,51 1,18 | 0,013 0,004 | 0,38–0,93 0,66 0,17 | 1,36 | 0,315–0,367 0,341 | 0,111 | 12 |

Концентрация NH_4^+ по сравнению с 1986 г. увеличилась в 3,6 раза. Их содержание коррелирует с количеством растворенного органического вещества (РОВ): $y = 0,566 \ln(x) - 0,9935$, $r = 0,997$ и зависит от внутриводоемных процессов разложения азотсодержащих органических соединений.

Содержание PO_4^{3-} варьирует в широких пределах от 0,04 до 0,53 мг/дм³ и коррелирует с содержанием РОВ: $y = 0,0534 \ln(x) - 0,0995$, $r = 0,999$, что подтверждает появление фосфатов за счет внутриводоемных процессов разложения фосфорорганических соединений. Нелинейный характер корреляции для поверхностных вод указывает на то, что возможно поступление фосфатов с водосборных площадей во время весеннего паводка.

Фосфаты и нитраты играют особую роль, т. к. они являются лимитирующими факторами в водоемах. В табл. 6 приведено соотношение общего неорганического азота и неорганического фосфора. Ни азот, ни фосфор не могут служить лимитирующим фактором развития фитопланктона в оз. Домашнее, Среднее, Б. Моховое (поверхностный слой), поскольку соотношение N/P выше оптимального значения 20/1 [6]. В воде оз. Варзанка, М. Чуртан, Б. Чуртан и в придонном слое оз. Б. Моховое соотношение не превышает 12/1 и азот является лимитирующим фактором.

Содержание в воде озер общего растворенного железа колебалось в пределах 0,02–0,26 мг/дм³, имея четкую тенденцию к увеличению (рис. 3).

Содержание марганца в воде составляло 0,10–0,66 мг/дм³. Известно, что при содержании марганца более 0,143 мг/дм³ [6] падает интенсивность развития фитопланктона, а в оз. Среднее и Б. Моховое этот предел превышен в 1,7 и 1,9 раза соответственно; в оз. Варзанка и Б. Чуртан в 3 раза, а в оз. М. Чуртан — в 4,7 раза. Токсичность Mn по отношению к гидробионтам, в том числе и фитопланктону, определяется соотношением Fe/Mn [7]. Это соотношение в оз. Б. Чуртан, М. Чуртан и Среднее снизилось до 0,07–0,14, что является доказательством токсичности марганца в этих водоемах.

Органическое вещество. Состав и распределение органических веществ в природных водах в значительной степени связаны с поступлением загрязняющих ве-

ществ, жизнедеятельностью гидробионтов и внутриводоемными процессами. Для характеристики суммарного содержания органических веществ в обследованных озерах использовали бихроматную окисляемость (БО), а для оценки легкоокисляемого органического вещества — перманганатную окисляемость (ПО). В табл. 4 приведены минимальные, максимальные и средние значения величин БО и ПО. Полученные данные показывают, что воды оз. Домашнее, Среднее, Б. Моховое и Б. Чуртан относятся к водам малой окисляемости ($ПО < 5 \text{ мг О/дм}^3$), озера М. Чуртан и Варзанка — к водам средней окисляемости ($ПО 6,8 \text{ мг О/дм}^3$).

Значения величин БО указывают на присутствие стойкого органического вещества в количествах, не превышающих допустимых значений ($< 30 \text{ мг О/дм}^3$) для оз. Домашнее, Среднее, Б. Моховое и превышающих их для оз. Варзанка, Б. Чуртан, М. Чуртан. Величина отношения ПО/БО позволяет судить о природе органического вещества, поскольку водный гумус планктонного происхождения (автохтонный) представлен алифатическими соединениями и трудно окисляется, а гумус аллохтонного происхождения связан с гуминовыми веществами. В случае преобладания терригенного гумуса, т. е. окрашенных гумусовых соединений ароматического фенольного типа, величина ПО/БО превышает 40%. Если органическое вещество состоит главным образом из свежееобразованных соединений, это отношение меньше 40% [8, 9, 10].

Отношение ПО/БО для обследованных озер не превышает 25% (от 8 до 25%), что указывает на преобладание белковоподобных веществ и гумуса планктонного происхождения. РОВ образуется главным образом в результате внутриводоемных биохимических процессов. При сравнении БО обследованных озер в 1961 и 2003 гг. очевидно, что ухудшается качество воды в оз. Б. Чуртан ($Д БО = 27,7 \text{ мг О/дм}^3$), причем интенсивнее, чем в оз. М. Чуртан ($Д БО = 13,4 \text{ мг О/дм}^3$). В водах озер Эзернинской системы (за исключением оз. Варзанка) происходит незначительное снижение РОВ ($Д БО = 3-6 \text{ мг О/дм}^3$). По отношению цветности (ЦВ) и БО также можно судить о природе органического вещества водоема [11]. Для оз. Варзанка, Б. Чуртан и М. Чуртан отношение ЦВ/БО составляет 0,95-1,03, что подтверждает преобладание автохтонного гумуса, а в оз. Домашнее, Среднее, Б. Моховое отношение ЦВ/БО, равное 1,53-1,64, указывает на наличие терригенного гумуса.

РОВ в водоеме участвует в процессах минерализации, при этом образуется CO_2 , что приводит к увеличению доли HCO_3^- и возрастанию pH, выделению сероводорода, образованию ионов аммония и минерального фосфора.

Установлена экспоненциальная зависимость БО и концентрации сероводорода $y = 1,654 e^{0,0395x}$ ($r = 0,984$) и гидрокарбоната $y = 169,95 e^{0,0083x}$ ($r = 0,961$), логарифмическая зависимость органического вещества и концентрации NH_4^+ $y = 0,5661 \ln(x) - 0,9935$, $r = 0,985$ и концентрации PO_4^{3-} $y = 0,0534 \ln(x) - 0,0995$, $r = 0,999$.

Важную роль играют реакции комплексообразования РОВ с тяжелыми металлами, в результате которых изменяется их миграционная способность, распределение между различными компонентами водной экосистемы, а также биодоступность и степень токсичности для гидробионтов. Как показало изучение степени связывания меди, являющейся наиболее токсичным элементом в водоеме, от концентрации РОВ (рис. 4), до 80% меди связывается в комплекс при высоком содержании органического вещества, что приводит к уменьшению токсичности меди.

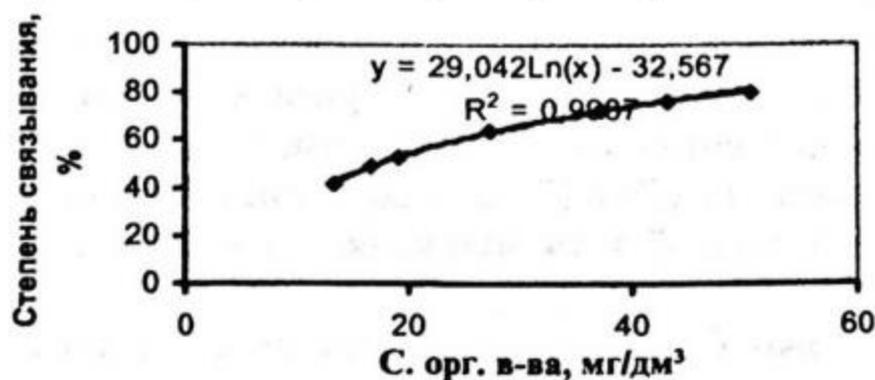


Рис. 4. Зависимость степени связывания меди от содержания органического вещества

Повышение концентрации органического вещества приводит к ухудшению качества воды водоема и его гидрохимических характеристик.

Выводы

1. Поверхностные воды викуловских озер по своему химическому составу относятся к гидрокарбонатно-натриевому типу. Изменение типа вод от хлоридно-натриевого к гидрокарбонатно-натриевому произошло в период 1961–2003 гг.
2. Газовый режим озер характеризуется зависимостью содержания растворенного кислорода от трофности водоемов. Высокое содержание растворенного кислорода характерно для олиго- и мезотрофных озер (Домашнее, Среднее, Б. Моховое, Б. Чуртан). Во всех озерах присутствует сероводород.
3. Содержание биогенных элементов невелико, за исключением фосфатов в озерах Варзанка и М. Чуртан. Нитритный азот практически отсутствует, а аммонийный имеет тенденцию к росту и является загрязнителем вод озер. В озерах Варзанка, М. Чуртан, Б. Чуртан содержание азота является лимитирующим фактором развития фитопланктона. Содержание марганца превышает предел паде-ния интенсивности развития фитопланктона в оз. Варзанка и Б. Чуртан в 3 раза, а в оз. М. Чуртан — в 4,7 раза.
4. Поверхностные воды озер относятся к водам малой окисляемости (ПО < 5), содержат значительные количества трудноокисляемого органического вещества, что указывает на интенсивные биологические внутриводоемные процессы.
5. Установлены корреляционные зависимости ионного состава вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мероприятия по развитию озерного и прудового хозяйства в южной части Тюменской области. Характеристика озерного фонда // Фонды ВСНХ. Институт «Гидрорыбпроект», объект № 608. М., 1962. 140 с.
2. Зенин А. А., Белоусова Н. В. Гидрохимический словарь. Л., 1988. 240 с.
3. Отчет № 18-85 о научно-исследовательской работе «Внедрение прогрессивных технологий рыбоводства на водоемах Викуловского рыбхоза». СибрыбНИИпроект. Тюмень, 1986.
4. Калинин В. М., Ларин С. И., Романова И. М. Малые реки в условиях антропогенного воздействия. Тюмень, 1998. 200 с.
5. Пихлак А.-Т. А. О влиянии подземных вод и атмосферных выпадений на состав воды некоторых малых лесных озер Северо-Восточной Эстонии // Экологическая химия. 2002. 11(4). С. 217–236.
6. Кораблева А. И. Возможность оценки экологической емкости Запорожского водохранилища (по тяжелым металлам) // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29. № 2. С. 85–90.
7. Нахшина Е. П. Микроэлементы в водохранилищах Днестра. Киев, 1983. 160 с.
8. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А. Д. Семенова. Л., 1977. 541 с.
9. Скопинцев Б. А., Бикбулатов Е. М. О химической природе органического вещества воды рек СССР // Водные ресурсы. 1986. № 3. С. 85–89.
10. Смирнов М. П., Тарасов М. Н. Соотношение перманганатной и бихроматной окисляемости воды в реках СССР // Гидрохимические материалы. 1988. Т. ХСІ. С. 3–11.
11. Линник П. Н., Васильчук Т. А. Азотсодержащие органические вещества в воде днепровских водохранилищ // Гидробиол. журн. 1995. Т. 31. № 5. С. 88–94.