

УДК 556.114:550.424:523.982.8
DOI: 10.18799/24131830/2023/11/4134

Динамика содержания растворенных форм железа в водах притоков Телецкого озера и ее анализ в связи с показателями солнечной активности

А.В. Пузанов, С.В. Бабошкина[✉], Т.А. Рождественская, С.Н. Балыкин,
Д.Н. Балыкин, А.В. Салтыков, И.А. Трошкова

Институт Водных и экологических проблем СО РАН, Россия, г. Барнаул

[✉] svetlana@iwep.ru, arsenida@rambler.ru

Аннотация

Актуальность исследования продиктована необходимостью расширять и углублять представления о влиянии показателей солнечного излучения на химические характеристики поверхностных вод, поскольку зависимость гидрохимических процессов от периодических изменений солнечной активности до сих пор изучена крайне слабо. Кроме того, в настоящее время во всем мире уделяется особо пристальное внимание исследованию содержания железа в водах рек и озер: повышенные концентрации Fe являются одной из причин «браунификации» поверхностных вод на значительной части Северного полушария. **Цель:** установить связь между содержанием и динамикой железа в водах притоков Телецкого озера и показателями солнечной активности (количеством солнечных пятен, F-индексом). **Методы.** Пробы воды отбирали в чистые новые полиэтиленовые бутылки в устьевой части рек, с глубины 0,1 м, в периоды весенне-летнего половодья и осенней межени с 2016 по 2020 гг. Содержание общего и растворенного Fe в водах определяли методом ICP-MS, а также методом AAS. В работе использованы данные Бельгийской обсерватории о показателях солнечной активности, находящиеся в свободном доступе. **Результаты.** Общее содержание Fe в реках бассейна Телецкого озера за период с 2016 по 2020 гг. изменяется от 5 до 340 мкг/л. Концентрации растворенного железа (от 4 до 200 мкг/л) не превышают российские нормативы и сопоставимы с концентрациями в водных объектах Западной Сибири, но часто выше среднемирового значения для речных вод, установленного за рубежом. Наиболее высокое содержание железа (общего и растворенного) в водах притоков и самого озера Телецкое, а также долевое содержание растворимых его форм отмечено в 2016 г., что, возможно, связано с наиболее высокими в то время показателями солнечной активности, которые вызывают определенные изменения в окружающей среде – повышение температуры воздуха, усиление испарения воды, уменьшение стока рек, что сопровождается ростом концентраций химических элементов в поверхностных водах. С 2016 г. отмечена устойчивая динамика уменьшения концентрации растворенного железа в поверхностных природных водах бассейна озера Телецкое, что, возможно, является следствием снижения в последние годы интенсивности солнечного излучения.

Ключевые слова: железо, вода, притоки, Телецкое озеро, солнечная активность, число Вольфа, F-индекс.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН по проекту FUFZ-2021-0003.

Работа выполнена с использованием научного оборудования ЦКП научно-исследовательскими судами ИВЭП СО РАН.

Для цитирования: Динамика содержания растворенных форм железа в водах притоков Телецкого озера и ее анализ в связи с показателями солнечной активности / А.В. Пузанов, С.В. Бабошкина, Т.А. Рождественская, С.Н. Балыкин, Д.Н. Балыкин, А.В. Салтыков, И.А. Трошкова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 11. – С. 147–155. DOI: 10.18799/24131830/2023/11/4134

UDC 556.114:550.424:523.982.8
DOI: 10.18799/24131830/2023/11/4134

Dynamics of dissolved Fe content in tributaries of Lake Teletskoe, depending on solar activity indicators

A.V. Puzanov, S.V. Baboshkina[✉], T.A. Rozhdestvenskaya,
S.N. Balykin, D.N. Balykin, A.V. Saltykov, I.A. Troshkova

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russian Federation

[✉] svetlana@iwep.ru, arsenida@rambler.ru

Abstract

Relevance. The need to expand and deepen the understanding of the influence of solar radiation indicators on chemical characteristics of surface water, since the dependence of hydrochemical processes on periodic changes in solar activity has so far been studied extremely poorly. In addition, special attention is paid worldwide to the study of iron content in waters of rivers and lakes. Iron increased concentrations are one of the reasons for the "brownification" of surface waters in a significant part of the Northern Hemisphere. **Aim.** To establish relationship between iron content and dynamics in the waters of the tributaries of Lake Teletskoe with indicators of solar activity (sunspots number, F-index). **Methods.** Water samples from the tributaries of Lake Teletskoe were collected into clean new polyethylene bottles in the estuaries of the rivers, from a depth of 0.5 m during the spring-summer high water and autumn low water, in 2016–2020. Content of total and dissolved Fe in the waters was determined by the ICP-MS method and by the AAS method. We used the data on solar activity indicators from the Belgian Observatory, which are freely available. **Results.** The total Fe content in the rivers of Lake Teletskoe basin for the period from 2016 to 2020 changes from 5 to 340 µg/l. Concentrations of dissolved iron (from 4 to 200 µg/l) do not exceed Russian standards, but they are often noticeably higher than the global average for river waters established abroad. The highest iron content, as well as the proportion of its soluble forms in the tributaries of Lake Teletskoe and in lake waters, was noted in 2016. It is probably due to the highest rates of solar activity. They cause certain changes in the environment – such as an increase in air temperature and water evaporation, and decrease in river flow, which accompanied by growth in concentrations of chemical elements in surface waters. Since 2016, there has been a steady decrease in dissolved iron concentration in surface natural waters of Lake Teletskoe basin, which may be a consequence of a decrease in solar radiation intensity in recent years.

Keywords: Iron, water, tributaries, Lake Teletskoe, solar activity, sunspots number, F-index.

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the state task of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS under project FUFZ-2021-0003.

For citation: Puzanov A.V., Baboshkina S.V., Rozhdestvenskaya T.A., Balykin S.N., Balykin D.N., Saltykov A.V., Troshkova I.A. Dynamics of dissolved Fe content in tributaries of Lake Teletskoe, depending on solar activity indicators. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2023, vol. 334, no. 11, pp. 147–155. DOI: 10.18799/24131830/2023/11/4134

Введение

Солнечная активность, демонстрирующая циклическое поведение с периодом около 11 лет, влияет на космическую погоду, процессы в атмосфере и является доминирующей движущей силой климатической системы Земли [1], воздействуя на глобальный климат в различных временных масштабах. Солнечные пятна – самые горячие участки поверхности Солнца – причина явлений солнечной активности и источники тепловой энергии [2]. От изменения солнечной активности зависит температура поверхностей морей и океанов [1, 3]. Существует связь между параметрами геомагнитной активности Земли и показателями солнечной активности [4]. Призна-

ется, что изменение числа солнечных пятен, наблюдаемое в слое фотосферы Солнца, является одним из существенных факторов, влияющих на состояние окружающей среды. Выявлено влияние динамики числа солнечных пятен на изменчивость гидрологического стока малых рек (верхнее течение Янзцы), причем порой даже более существенное, чем связь стока с количеством осадков [5] – возможно, из-за эффекта «запаздывающего влияния» солнечной активности на выпадение дождей в Китае [6]. В то же время возникающие часто в жаркую погоду лесные пожары (на территории Турции) и их многолетняя динамика могут не зависеть от изменения числа пятен на солнце [7].

Научное направление, изучающее зависимость биосферных процессов от циклов солнечной активности, было заложено еще в начале XX в. А.Л. Чижевским и названо космобиологией. Однако влияние периодичности солнечной активности на химические и биологические характеристики поверхностных вод до сих пор изучено крайне слабо, и в научной литературе (отечественной и зарубежной) исследования о влиянии солнечной цикличности на гидрохимические показатели природных вод встречаются редко. Например, приводятся сведения о прямой зависимости содержания кислорода и сульфатов в реке Самаре от числа Вольфа, при этом влияния солнечной активности на содержание меди и марганца в водах Самары авторами установлено не было [8]. С использованием 60-летних результатов анализов воды р. Днепр было статистически подтверждено влияние солнечной активности на качественные показатели днепровской воды и показано, что изменение ее химических свойств напрямую коррелирует с динамикой солнечной активности; на основании этих выводов авторы предлагали вести планирование работы водоочистных сооружений [9]. Учеными из Латвии, на основании многолетнего гидрохимического мониторинга и анализа долгосрочных гелиофизических данных, был установлен отчетливый характер колебания значений стока железа реками Лиелупе и Даугава, который четко совпадает с 11-тилетним циклом изменений суммарной солнечной радиации: было показано, что за последние три десятилетия содержание и вынос железа речными водами статистически значимо положительно коррелируют с числом солнечных пятен [10].

Учеными кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета под руководством Л.П. Рихванова в свое время изучалась связь химического состава ледника Большой Актру с гелиофизическими параметрами. Авторами было отмечено, что концентрации микроэлементов (в том числе железа) в талых водах ледника закономерно возрастали в десятки раз в участках керна, соответствующих периодам минимальной солнечной активности. В то же время авторы уточнили, что периодичный характер распределения химических элементов в леднике Большой Актру в последние два–три десятилетия нарушен [11]. Действительно, судя по приведенным в статье графикам, в 1999–2000 гг. в период максимальной солнечной активности содержание железа в талых водах ледника Актру было как раз повышено. В свое время А.В. Робертусом с соавторами была сделана попытка проанализировать связь гидрохимических характеристик притоков озера Телецкое с солнечными циклами. Данные были взяты авторами из баз данных Запсибгидромета. По некоторым соедине-

ниям и элементам (сульфаты, ион аммония, молибден) авторы установили прямые связи их содержания в воде озера и в водах его притоков (Кыга, Кокши, Чулышман) с различными показателями солнечной активности [12].

Цель настоящего исследования – проанализировать динамику содержания железа в водах притоков озера Телецкое за пятилетний период в связи с показателями солнечной активности и количеством осадков.

В задачи исследования входило изучение динамики содержания общего и растворенного железа в природных поверхностных водах бассейна озера Телецкое, а также выполнение корреляционного анализа между показателем содержания железа и параметрами солнечной активности – числом Вольфа и фактором F (излучением при длине волны 10,7).

Объекты и методы исследования

Озеро Телецкое – крупнейший водоем Алтая, одно из красивейших и глубочайших горных озер Южной Сибири, является объектом Всемирного природного наследия ЮНЕСКО, расположено на высоте 434 м над ур. м. в Северо-Восточном Алтае – самой теплой и влажной провинции Горного Алтая. Здесь сравнительно теплая зима и прохладное влажное лето. Более 80 % площади бассейна озера Телецкое занято лесами [13]. Экспозиционные различия в распределении почвенно-растительного покрова выражены слабо. Почвенный покров бассейна озера отличается четкой вертикальной зональностью, характерной для горных областей. Отметим, что восточные склоны меридиональной части Телецкого озера преимущественно представлены скалистыми экзарационно-денудационными ландшафтами с каменистыми маломощными горно-лесными, горно-луговыми и горно-тундровыми почвами, тогда как западные берега в большей степени заняты кедрово-таежными лесными сообществами с горно-лесными бурыми, дерново-подзолистыми и серыми лесными почвами на мощных переработанных осадочных породах. На территории бассейнов некоторых притоков Телецкого озера встречаются обширные заболоченные участки.

Работы по изучению химического состава вод притоков озера Телецкое (рис. 1) проводили в 2016–2020 гг. [14]. Пробы воды отбирали в устьевой части рек, в зоне течения, с глубины 0,1 м, в чистую новую полиэтиленовую посуду, не допуская взмучивания донных отложений. Пробы фильтровали через мембранные фильтры (размер пор 0,45 мкм) и консервировали очищенной азотной кислотой марки о.с.ч.

Содержание железа в нефилтрованных (общее содержание) и филтрованных (растворимые формы) образцах определяли методом атомно-абсорбционной

притоках восточной стороны меридиональной части озера – реках Корбу и Чири (таблица). Эти значения не превышают среднемировой уровень общего содержания Fe в речных водах, по оценкам В.В. Добровольского [20], но выше среднемирового значения, установленного зарубежными учеными [22]. Отметим, что уровень содержания железа в водах притоков озера Телецкое сопоставим с концентрациями в водных объектах Западной Сибири. Так, по литературным данным, в водах бассейна р. Кураган (правый приток р. Катунь, среднее течение, Центральный Алтай) содержание железа (определение ICP-MS) в 2016 г. в одной группе рек и озер изменялось от 6,5 до 36 мкг/л, а в другой – от 100 до 140 мкг/л [25]. По результатам наших более ранних исследований, в 2010 г. в поверхностных водах Северо-Восточного Алтая (реках Кыга, Кокши, Колдор, Чулышман и в водах самого озера Телецкое) содержание растворенных форм железа изменялось от 150 до 310 мкг/л, в среднем составляя 215 ± 15 мкг/л [26].

В поверхностных водах бассейна озера Телецкое наименьшим и наиболее равномерным за пятилетний период содержанием общего и растворенного железа отличается река Большие Чили. Воды р. Малые Чили, бассейн которой в среднем течении заболочен, отличаются существенно более высоким содержанием растворенного железа. Сравнительно невысокое содержание железа из года в год обнаруживается в водах Камгинского залива и в р. Камга, в бассейне которой практически отсутствует какое-либо антропогенное вмешательство, и природный фактор, влияющий на формирование гидрохимического стока, является ведущим.

Показатель доли растворенного железа от общего его содержания также довольно изменчив (таблица). Обращает на себя внимание тот факт, что максимальные величины долевого содержания растворенного железа приходятся в основном на осень 2016 г.

Озерная вода в 2016–2017 гг. характеризовалась повышенными концентрациями железа, тогда как в последние годы этот показатель находится на уровне содержания Fe в водах притоков. Согласно [27], в водах озера Байкал, в геологии водосбора которого преобладают гранитоидные породы, концентрация многих микроэлементов, в том числе и железа, наоборот, гораздо ниже, чем в водах притоков. По обобщенным результатам исследований, проведенных в 2011 г. Т.А. Кремлевой с соавторами [28], на территории Западной Сибири содержание железа (определенного методом ICP-MS) в водах малых озер средней тайги, не подверженных прямому антропогенному воздействию, изменяется от 11 до 730 мкг/л, в среднем составляя 272 мкг/л, а в водах озер южной тайги варьирует от 47 мкг/л до 1393 мкг/л, в среднем составляя 126 мкг/л [28], что заметно выше, чем в водах озера Телецкое – 2,5–90 мкг/л (таблица).

Таблица. Содержание общего и растворенного железа в водах притоков озера Телецкое и в озерной воде в период с 2016 по 2020 гг.

Table. Content of total and dissolved iron in the waters of the tributaries of Lake Teletskoe in the period from 2016 to 2020

Реки/Rivers	Fe _{общ} Fe _{total}	Fe _{раств} Fe _{dissolved}	Доля Fe _{раств.} от Fe _{общ.} Fe _{dissolved} /Fe _{total} , %	
			осень 2016 autumn, 2016	2017–2020
М. Чили/M. Chili	30...240	15...160	75	34...69
Б.Чили/B. Chili	11...150	4,1...90	78	25...68
Чулышман Chulyshman	5,0...340	3,0...110	68	35...53
Камга/Kamga	24...127	4,8...120	92	5...34
Кокши/Kokshi	18...240	10...170	81	16...71
Челюш/Chelush	19...210	5,0...130	80	10...55
Чири/Chiri	24...340	6,0...200	87	15...59
Озерная вода Lake water	8,9...230	2,5...190	90	28...53

Наиболее высокое содержание общего и растворенного железа в водах бассейна озера Телецкое было установлено в 2016 г. Тем не менее ни в одной пробе содержание железа не превышало тогда ПДК (300 мкг/л) для поверхностных вод объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, однако было заметно выше допустимых величин в водах рыбохозяйственного назначения (100 мкг/л).

В июне 2018 г. содержание железа в водах притоков озера Телецкое изменялось от 7 мкг/л (р. Чедор) до 80 мкг/л в р. Чулышман, что заметно ниже, чем в этом же году в воде р. Оби в районе г. Барнаула – от 26 до 144 мкг/л, причем тогда доля растворенного железа в водах р. Оби составляла только 10 % от его общего содержания [29].

По результатам другого исследования, содержание железа в водах р. Оби в районе г. Барнаула колебалось от 3,4 до 246 мкг/л, причем рост концентраций наблюдался в зимний и весенний период [30].

На рис. 2 приведено содержание железа в поверхностных водах в период с 2016 по 2020 гг. (в летние и осенние периоды), в зависимости от показателей интенсивности солнечного излучения – числа Вольфа (среднемесячные показатели) и Индекса F (потоки излучения при длине волны 10,7), а также от уровня увлажненности территории (количества осадков периода, предшествующего отбору проб). Наибольшие содержания растворимого железа в водах притоков озера Телецкое – 35–120 мкг/л (в период весенне-летнего половодья) и 90–200 мкг/л (в период осенней межени) отмечались в 2016 г., когда показатели солнечной активности – уровень излучения при $\lambda=10,7$ (индекс F), а также число Вольфа – были максимальны (в рамках исследуемого периода).

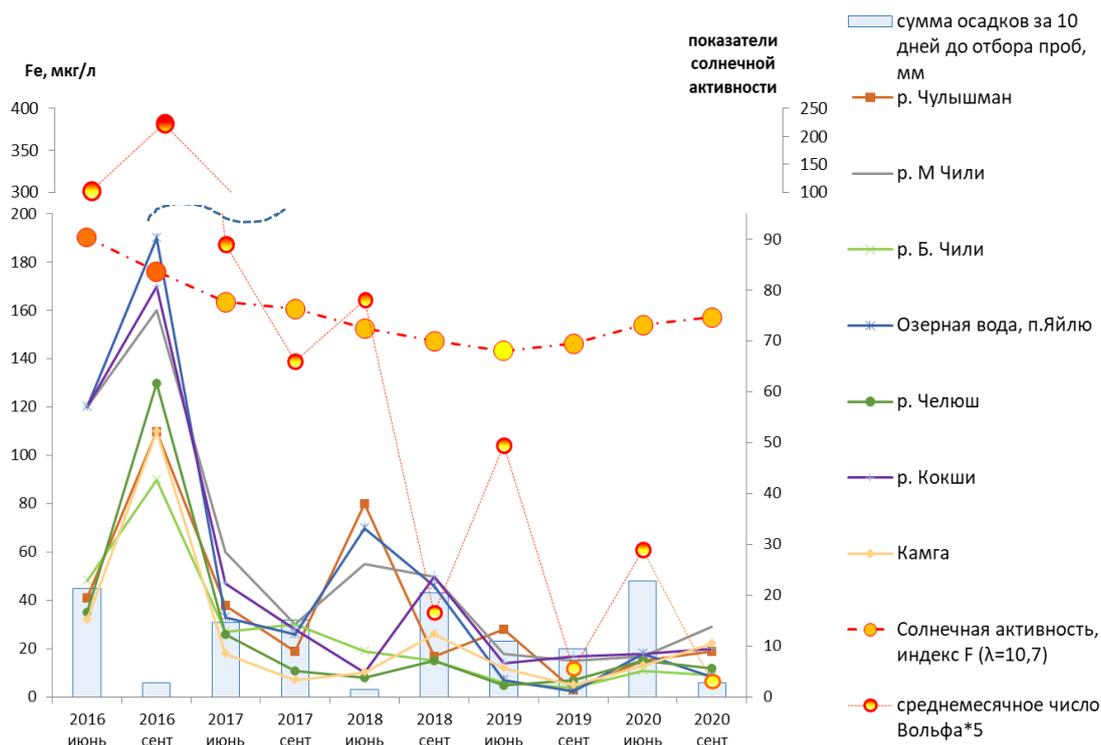


Рис. 2. Содержание $Fe_{\text{раств.}}$ в водах малых рек бассейна озера Телецкое и в озерной воде в связи с количеством выпавших за 10-дневный период осадков и числовыми показателями солнечной активности – числом Вольфа и потоком солнечного излучения на длине волны $\lambda=10,7$ (индекс F)

Fig. 2. Content of dissolved Fe in small rivers waters of Lake Teletskoe catchment and in lake water, in relation to the amount of precipitation over a 10-day period and numerical indicators of solar activity – the sunspots number and the solar radiation flux at a wavelength $\lambda=10,7$ (index F)

Этому есть объяснение – повышение температуры воздуха вызывает ускорение испарения воды и уменьшение стока рек, питающих водоем [2, 3, 9], а значит, концентрации веществ в водах могут возрастать [31], особенно в меженные периоды (рис. 2, осенние показатели).

В периоды высокой солнечной активности сезонные колебания концентраций микроэлементов в водах наиболее выражены и сильнее зависят от увлажненности водосборной территории [12]. Поэтому в 2016 г., когда показатель интенсивности солнечного излучения длиной волны 10,7 был довольно высок, пик концентрации железа отчетливо приходился на период с наименьшими количествами осадков – на осеннюю межень 2016 г.

В 2018 г., когда солнечная активность шла на спад, но выдался засушливый июнь, заметно более высоким содержанием растворенного железа отличались только воды самого озера и наиболее крупного его притока – р. Чулышман, а также р. Малые Чили, повышенная миграционная способность железа в бассейне которой объясняется в том числе заболоченностью реки в среднем течении.

Подобная закономерность прослеживается и для рек других провинций Алтая: например, в августе 2016 г. в воде р. Иолдо (верховье р. Кураган, правого

притока р. Катунь) было обнаружено 303 мкг/л растворенного железа, а в 2017 г. – всего 26 мкг/л [25].

Снижение солнечной активности и величин ее показателей наблюдается с 2017 г. Содержание железа в водах притоков озера Телецкое варьировало в 2017 г. от 11 до 60 мкг/л. Минимальные показатели интенсивности солнечного излучения длиной волны 10,7 см (индекса F) были отмечены в 2019 г., в этот же период нами были установлены и самые низкие уровни содержания растворимого железа (2,5–28 мкг/л) в водах притоков озера Телецкое и в озерной воде. В июне 2020 г. отмечен незначительный рост показателя солнечного излучения при длине волне 10,7 – соответственно, отмечалось и некоторое увеличение концентрации растворенного железа в водах рек бассейна озера Телецкое, содержание железа в которых, как правило, повышено – например, в водах р. Малые Чили, бассейн которой в среднем течении заболочен.

Заключение

Общее содержание железа в водах рек бассейна Телецкого озера за период с 2016 по 2020 гг. изменятся от 5 до 340 мкг/л, а содержание растворенного железа варьирует от 4 до 200 мкг/л. Уровень содержания Fe в водах притоков озера не превышает российские нормативы, сопоставим с концентраци-

ями в водных объектах Западной Сибири, но часто заметно выше среднемирового значения для речных вод, установленного зарубежными учеными.

Повышенное содержание общего и растворенного железа в водах притоков озера Телецкое, а также в озерной воде отмечено в 2016 г. Для периода осенней межени 2016 г. характерно движение доли растворенных форм железа от общего содержания. Это, возможно, связано с наиболее высокими (в пределах рассматриваемого периода) показателями

солнечной активности, которые сопровождаются повышением температуры воздуха, усилением испарения воды, уменьшением стока рек, ростом концентраций химических элементов в поверхностных водах. С 2016 г. отмечена устойчивая динамика уменьшения концентрации растворенного железа в поверхностных природных водах бассейна озера Телецкое, что, возможно, является следствием снижения в последние годы интенсивности солнечного излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The causality from solar irradiation to ocean heat content detected via multi-scale Liang–Kleeman information flow / G. Wang, C. Zhao, M. Zhang, M. Zhang, Yu. Zhang, M. Lin, F. Qiao // *Science Reports*. – 2020. – № 10: 17141. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74331-2> (дата обращения 16.03.2023).
2. Soika A.K. Revisiting the nature of dark sunspots: not magnetic, but thermal activity of the Sun // *Physics & Astronomy International Journal*. – 2022. – V. 9. – Iss. 3. – P. 90–95.
3. Reid G. Influence of solar variability on global sea surface temperatures // *Nature*. – 1987. – V. 329. – P. 142–143.
4. Verma P.L., Tripathi O. Statistical relation of geomagnetic activity parameters with solar activity parameters // *International Journal of Innovative Research & Growth*. – 2016. – V. 2. – Iss. 5. – P. 115–120.
5. Yang R., Xing B. Possible linkages of hydrological variables to ocean–atmosphere signals and sunspot activity in the upstream Yangtze River basin // *Atmosphere*. – 2021. – № 12. – P. 1361. DOI: 10.3390/atmos12101361
6. Li H., Wang Y., Wang C. Lagged response of summer precipitation to solar activity in the mid-lower reaches of the Yangtze River // *Frontiers in Earth Science*. – 2023. – № 1 (10). – P. 1–10. DOI: 10.3389/feart.2022.1101252.
7. Cengiz M.T. Periodic analysis of forest fire numbers and sunspot numbers in Türkiye // *European Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2022. – № 5 (1). – P. 49–56. DOI: 10.55581/ejeas.1137100.
8. Шабанов В.А., Хрянина А.А. О влиянии солнечной активности на гидрохимический состав реки Самары // *Градостроительство и архитектура*. – 2018. – Т. 8. – № 2 (31). – С. 71–73. DOI: <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2018.02.12>
9. Kulishenko O., Klymenko N. Cycles of solar activity as a basis for forecasting the quality of Dnieper water // *Water and Water Purification Technologies. Scientific and Technical News*. – 2021. – № 10. – P. 1–15. DOI: 10.20535/2218-930022021236500
10. Porsnovs D., Klavins M. Decadal oscillations of the aquatic chemistry of river waters in Latvia // *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*. – 2016. – № 374. – P. 193–199. DOI: 10.5194/piahs-374-193-2016.
11. Особенности распределения химических элементов в талой воде ледника Актру (Горный Алтай) / Л.П. Рихванов, Ю.В. Робертус, А.В. Таловская, Р.В. Любимов., А.Ю. Шатилов // *Известия Томского политехнического университета*. – 2008. – Т. 313. – № 1. – С. 97–103.
12. Робертус Ю.В., Шевченко Г.А. Зависимость гидрохимических показателей Телецкого озера и его притоков от солнечной активности // *Вестник Томского государственного педагогического университета*. – 2009. – № 11 (89). – С. 194–197.
13. Селегей В.В., Селегей Т.С. Телецкое озеро / под ред. В.А. Знаменского. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 142 с.
14. Влияние биогеохимической обстановки водосборного бассейна озера Телецкое (Северо-Восточный Алтай) на содержание главных ионов и Fe в водах его притоков / А.В. Пузанов, С.В. Бабошкина, Т.А. Рождественская, С.Н. Балыкин, Д.Н. Балыкин, А.В. Салтыков, И.А. Трошкова, С.Я. Двуреченская // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2022. – Т. 333. – № 2. – С. 111–122.
15. Архив погоды в с. Артыбаш. URL: <http://www.rp5.ru> (дата обращения 20.02.2023).
16. Графики солнечного цикла. URL: <https://www.spaceweatherlive.com/ru/solnechnaya-aktivnost/solnechnyy-cikl.html> (дата обращения: 17.01.2023).
17. Среднемесячное общее число солнечных пятен (данные Центра изучения влияния солнечной активности). URL: https://www.sidc.be/silso/DATA/SN_m_tot_V2.0.txt (дата обращения 26.01.2023).
18. Does browning affect the identity of limiting nutrients in lakes? / P.D.F. Isles, A. Jonsson, I.F. Creed, A.-K. Bergstrom // *Aquatic Science*. – 2020. – V. 82. – № 2. – Art. 45. DOI: 10.1007/s00027-020-00718-y
19. Kritzberg E.S., Ekström S.M. Increasing iron concentrations in surface waters – a factor behind brownification? // *Biogeosciences*. – 2012. – № 9. – P. 1465–1478. DOI: 10.5194/bgd-8-12285-2011
20. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. – М.: Высшая школа, 1998. – 413 с.
21. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». – М., 2021. – 135 с.
22. Gaillardet J., Viers J., Dupré B. Trace elements in river waters // *Treatise on Geochemistry*. – Oxford: Elsevier, 2014. – P. 195–235.
23. Water quality assessment of alpine glacial blue water lakes and glacial-fed rivers / M. Khan, A. Ellahi, R. Niaz, M. Ghoneim, E. Tageldin, A. Rashid // *Geomats, Natural Hazards and Risk*. – 2022. – V. 13 (1). – P. 2597–2617.
24. Микроэлементы в речных водах горно-лесных бассейнов (юг Дальнего Востока России) / Н.К. Кожевникова, А.Г. Болдескул, Т.Н. Луценко, В.В. Шамов, Е.В. Еловский, Д.А. Касуров // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2022. – Т. 333. – № 6. – С. 190–205.
25. Бородина Е.В. Экологическое состояние водных объектов бассейна Курагана (Горный Алтай) // *География и природные ресурсы*. – 2022. – Т. 43. – № 2. – С. 44–53.
26. Puzanov A.V., Baboshkina S.V., Gorbachev I.V. Concentration and distribution of major macro- and microelements in surface waters in the Altai // *Water Resources*. – 2015. – V. 42. – № 3. – P. 340–351.

27. Source to sink analysis of weathering fluxes in Lake Baikal and its watershed based on riverine fluxes, elemental lake budgets, REE patterns, and radiogenic (Nd, Sr) and $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ isotopes / T.J. Suhrhoff, J. Rickli, M. Christl, E.G. Vologina, V. Pham, M. Belhadj, E.V. Sklyarov., C. Jeandel, D. Vance // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2022. – V. 321. – P. 133–157.
28. Geochemical features of natural waters of West Siberia: microelement composition / T.A. Kremleva, T.I. Moiseyenko, V.Y. Khoroshavin, A.A. Shavnin // *Tyumen State University Herald*. – 2012. – № 12. – P. 71–80.
29. Микроэлементный состав воды реки Оби в районе города Барнаула / А.Н. Эйрих, Т.Г. Серых, В.Н. Степанец, Т.С. Папина // *Известия Алтайского отделения Русского географического общества*. – 2018. – № 3 (50). – С. 64–67.
30. Сезонная динамика химического состава поверхностной воды р. Оби / А.Н. Эйрих, Т.Г. Серых, Е.А. Овчаренко, Д.П. Подчуфарова, А.В. Котовщиков // *Теоретическая и прикладная экология*. – 2022. – № 3. – С. 96–102.
31. Посохов Е.В. Химическая эволюция гидросферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 359 с.

REFERENCES

1. Wang G., Zhao C., Zhang M., Zhang M., Zhang Yu., Lin M., Qiao F. The causality from solar irradiation to ocean heat content detected via multi-scale Liang–Kleeman information flow. *Science Reports*, 2020, vol. 10:17141. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74331-2> (accessed 16 March 2023).
2. Soika A.K. Revisiting the nature of dark sunspots: not magnetic, but thermal activity of the Sun. *Physics & Astronomy International Journal*, 2022, vol. 9, Iss. 3, pp. 90–95.
3. Reid G. Influence of solar variability on global sea surface temperatures. *Nature*, 1987, vol. 329, pp. 142–143.
4. Verma P.L., Tripathi O. Statistical relation of geomagnetic activity parameters with solar activity parameters. *International Journal of Innovative Research & Growth*, 2016, vol. 2, Iss. 5, pp. 115–120.
5. Yang R., Xing B. Possible linkages of hydrological variables to ocean – atmosphere signals and sunspot activity in the Upstream Yangtze River basin. *Atmosphere*, 2021, vol. 12:1361. DOI: 10.3390/atmos12101361
6. Li H., Wang Y., Wang C. Lagged response of summer precipitation to solar activity in the mid-lower reaches of the Yangtze River. *Frontiers in Earth Science*, 2023, no. 1 (10), pp. 1–10. DOI: 10.3389/feart.2022.1101252.
7. Cengiz M.T. Periodic analysis of forest fire numbers and sunspot numbers in Türkiye. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2022, no. 5 (1), pp. 49–56. DOI: 10.55581/ejeas.1137100.
8. Shabanov V.A., Khryanina A.A. On the influence of solar activity on the hydrochemical composition of the water of the samara river. *Urban construction and architecture*, 2018, vol. 8, no. 2 (31), pp. 71–73. In Rus.
9. Kulishenko O., Klymenko N. Cycles of solar activity as a basis for forecasting the quality of Dnieper water. *Water and Water Purification Technologies. Scientific and Technical News*, 2021, no. 10, pp. 1–15. DOI: 10.20535/2218-930022021236500
10. Porsnovs D., Klavins M. Decadal oscillations of the aquatic chemistry of river waters in Latvia. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 2016, no. 374, pp. 193–199. DOI: 10.5194/piahs-374-193-2016.
11. Rikhvanov L.P., Robertus Yu.V., Talovskaya A.V., Lyubimov R.V., Shatilov A.Yu. Features of chemical elements distribution in thawing water of the glacier Bolshoy Aktru (Mountainous Altai). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2008, vol. 313, no. 1, pp. 97–103.
12. Robertus Yu.V., Shevchenko G.A. To question of the dependencies hydrogeochemical factors lake teletsky and its influx from solar activity. *Tomsk State Pedagogical University Bulletin*, 2009, no. 11 (89), pp. 194–197.
13. Selegey V.V., Selegey T.S. *Teletskoe ozero* [Teletskoe Lake]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1978. 142 p.
14. Puzanov A.V., Baboshkina S.V., Rozhdestvenskaya T.A., Balykin S.N., Balykin D.N., Saltykov A.V., Troshkova I.A., Dvurechenskaya S.Ya. The influence of the biogeochemical situation of the lake Teletskoye catchment (North-Eastern Altai) on the content of the major ions and Fe in the tributaries waters. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2022, vol. 333, no. 2, pp. 111–122. In Rus.
15. *Arkhiv pogody v s. Artybash* [Weather archive in Artybash village]. Available at: <http://www.rp5.ru> (accessed 20 February 2023).
16. *Grafiki solnechnogo tsikla* [Solar cycle charts]. Available at: <https://www.spaceweatherlive.com/ru/solnechnaya-aktivnost/solnechnyy-cikl.html> (accessed 17 January 2023).
17. *Monthly mean total sunspot number (Dates of Solar influence data analysis center)*. Available at: https://www.sidc.be/silso/DATA/SN_m_tot_V2.0.txt (accessed 26 January 2023).
18. Isles P.D.F., Jonsson A., Creed I.F., Bergstrom A.-K. Does browning affect the identity of limiting nutrients in lakes? *Aquatic Science*, 2020, vol. 82, no. 2, Art. 45. DOI: 10.1007/s00027-020-00718-y
19. Kritzberg E.S., Ekström S.M. Increasing iron concentrations in surface waters – A factor behind brownification? *Biogeosciences*, 2012, no. 9, pp. 1465–1478. DOI: 10.5194/bg-9-1465-2011
20. Dobrovolskiy V.V. *Osnovy biogeokhimii* [Fundamentals of biogeochemistry]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1998. 413 p.
21. *SanPiN 1.2.3685-21 Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya* [Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans]. Moscow, 2021. 135 p.
22. Gaillardet J., Viers J., Dupré B. Trace elements in river waters. *Treatise on Geochemistry*. Oxford, Elsevier, 2014. pp. 195–235.
23. Khan M., Ellahi A., Niaz R., Ghoneim M., Tageldin E., Rashid A. Water quality assessment of alpine glacial blue water lakes and glacial-fed rivers. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2022, vol. 13 (1), pp. 2597–2617.
24. Kozhevnikova N.K., Boldeskul A.G., Lutsenko T.N., Shamov V.V., Elovskiy E.V., Kasurov D.A. Microelements in river water of mountain-forest basins (southern Russian Far East). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2022, vol. 333, no. 6, pp. 190–205. In Rus.
25. Borodina E.V. Ecological state of water bodies within the Kuragan basin (Gorny Altai). *Geography and Natural Resources*, 2022, vol. 43, no. 2, pp. 44–53. In Rus.
26. Puzanov A.V., Baboshkina S.V., Gorbachev I.V. Concentration and distribution of major macro- and microelements in surface waters in the Altai. *Water Resources*, 2015, vol. 42, no. 3, pp. 340–351.

27. Suhrhoff T.J., Rickli J., Christl M., Vologina E.G., Pham V., Belhadj M., Sklyarov E.V., Jeandel C., Vance D. Source to sink analysis of weathering fluxes in Lake Baikal and its watershed based on riverine fluxes, elemental lake budgets, REE patterns, and radiogenic (Nd, Sr) and $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2022, vol. 321, pp. 133–157.
28. Kremleva T.A., Moiseyenko T.I., Khoroshavin V.Y., Shavnin A.A. Geochemical features of natural waters of West Siberia: microelement composition. *Tyumen State University Herald*, 2012, no. 12, pp. 71–80.
29. Eirikh A.N., Serykh T.G., Stepanets V.N., Papina T.S. The trace element composition of water in the Ob river near Barnaul. *Proceedings of the Altai Branch of the Russian Geographical Society*, 2018, no. 3 (50), pp. 64–67. In Rus.
30. Eirikh A.N., Serykh T.G., Ovcharenko E.A., Podchufarova D.P., Kotovschikov A.V. Chemical composition of the surface water in the Ob river. *Theoretical and applied ecology*, 2022, no. 3, pp. 96–102. In Rus.
31. Posokhov E.V. *Khimicheskaya evolyutsiya gidrosfery* [Chemical evolution of the hydrosphere]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1981. 359 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр Васильевич Пузанов, доктор биологических наук, профессор, заместитель директора Института водных и экологических проблем СО РАН, Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1; puzanov@iwep.ru; <http://https://orcid.org/0000-0002-1340-486X>

Светлана Вадимовна Бабошкина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН, Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1; svetlana@iwep.ru, arsenida@rambler.ru; <http://https://orcid.org/0000-0001-9904-991X>; Шифр специальности ВАК: 1.6.16

Тамара Анатольевна Рождественская, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН, Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1; rtamara@iwep.ru; <http://https://orcid.org/0000-0001-8487-2495>

Сергей Николаевич Балыкин, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН, Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1; balykins@rambler.ru; <http://https://orcid.org/0000-0001-5598-0470>

Дмитрий Николаевич Балыкин, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН, Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1; balykindn@yandex.ru; <http://https://orcid.org/0000-0003-3076-360X>

Алексей Владимирович Салтыков, научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН, Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1; saltykov@iwep.ru; <http://https://orcid.org/0000-0003-1515-3061>

Ирина Александровна Трошкова, младший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН, Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1; egorka_iren@mail.ru; <http://https://orcid.org/0000-0003-2809-8022>

Поступила в редакцию: 31.03.2023

Поступила после рецензирования: 18.04.2023

Принята к публикации: 29.04.2023

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander V. Puzanov, Dr. Sc., Professor, Deputy Director, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, 1, Molodezhnaya street, Barnaul, 656038, Russian Federation; puzanov@iwep.ru; <http://https://orcid.org/0000-0002-1340-486X>

Svetlana V. Baboshkina, Cand. Sc., Senior Researcher, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, 1, Molodezhnaya street, Barnaul, 656038, Russian Federation; svetlana@iwep.ru, arsenida@rambler.ru; <http://https://orcid.org/0000-0001-9904-991X>

Tamara A. Rozhdestvenskaya, Cand. Sc., Senior Researcher, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, 1, Molodezhnaya street, Barnaul, 656038, Russian Federation; rtamara@iwep.ru; <http://https://orcid.org/0000-0001-8487-2495>

Sergey N. Balykin, Cand. Sc., Senior Researcher, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, 1, Molodezhnaya street, Barnaul, 656038, Russian Federation; balykins@rambler.ru; <http://https://orcid.org/0000-0001-5598-0470>

Dmitry N. Balykin, Cand. Sc., Researcher, Cand. Sc., Senior Researcher, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, 1, Molodezhnaya street, Barnaul, 656038, Russian Federation; balykindn@yandex.ru; <http://https://orcid.org/0000-0003-3076-360X>

Alexey V. Saltykov, Researcher, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, 1, Molodezhnaya street, Barnaul, 656038, Russian Federation; saltykov@iwep.ru; <http://https://orcid.org/0000-0003-1515-3061>

Irina A. Troshkova, Junior Researcher, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, 1, Molodezhnaya street, Barnaul, 656038, Russian Federation; egorka_iren@mail.ru; <http://https://orcid.org/0000-0003-2809-8022>

Received: 31.03.2023

Revised: 18.04.2023

Accepted: 29.04.2023