

ГИДРОЛОГИЯ

УДК 556.114

DOI 10.17072/2079-7877-2018-2-88-103

**ФОРМАЛИЗОВАННАЯ ГРУППИРОВКА ПРИТОКОВ ОБИ
ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ПО ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ ВОД*****Тамара Тимофеевна Ефремова**

Scopus ID: 22952847100, Author ID: 78591

e-mail: efr2@ksc.krasn.ru

*Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск***Станислав Петрович Ефремов**

Scopus ID: 7003493420, Author ID: 61497

e-mail: efr2@ksc.krasn.ru

*Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск***Ада Федоровна Аврова**

Scopus ID: 35228360800, SPIN-код: 8732-6948, Author ID: 86873

e-mail: avrova@ksc.krasn.ru

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск

В пределах южной тайги методами многомерного статистического анализа впервые выполнена группировка 26 притоков Оби разного уровня по химическому составу вод. Притоки первого и третьего порядков образовали самостоятельные кластеры. Притоки второго порядка сгруппировались либо с притоками высокого, либо низкого уровня в зависимости от интенсивности водообмена и специфики речных истоков – типов болот. Количество попаданий в соответствующий кластер составляет 100%. Наиболее значимый вклад в дискриминацию совокупно вносят три показателя: содержание водорастворимого органического углерода, величина минерализации, анионы HCO_3^- , наибольший персональный вклад принадлежит органическому углероду преимущественно фульватной природы. Статистически подтверждено снижение минерализации вод, повышение концентрации углерода гумусовой природы, органических микропримесей, микроэлементов и аммиачного азота в сгруппированных притоках третьего порядка по сравнению с более высоким уровнем. Лимитирующие признаки качества вод: содержание общего железа и ХПК, обусловленные главным образом природными факторами – высокой заболоченностью территории. Не отвечают санитарно-гигиеническим требованиям преимущественно воды малых (болотных) рек.

Ключевые слова: притоки Средней Оби, макро- и микрокомпонентный состав, биогенные элементы, водорастворимые гумусовые соединения, органические микропримеси, качество вод, многомерный статистический анализ.

**FORMALIZED GROUPING OF THE WATER CHEMICAL COMPOSITION
OF THE OB RIVER TRIBUTARIES IN TAIGA ZONE****Tamara T. Efremova**

Scopus ID: 22952847100, Author ID: 78591

e-mail: efr2@ksc.krasn.ru

*V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk***Stanislav P. Efremov**

Scopus ID: 7003493420, Author ID: 61497 e-mail: safonovae14@yandex.ru

*V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk***Ada F. Avrova**

Scopus ID: 35228360800, SPIN-code: 8732-6948, Author ID: 86873

© Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Аврова А.Ф., 2018

* Работа выполнена в рамках проекта № 45 «Взаимосвязь климатических и экосистемных процессов на территории лесоболотных комплексов Западной Сибири» Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН «Междисциплинарные интеграционные исследования» на 2018-2020 гг.

e-mail: safonovae14@yandex.ru

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk

Within the southern taiga, 26 Ob tributaries of different levels were grouped according to the chemical composition of the water. The grouping was performed based on the methods of multidimensional statistical analysis. The tributaries of the first and third order formed independent clusters. The tributaries of the second order were grouped with tributaries of either high or low level, depending on the intensity of water exchange and the specific features of the headwaters – types of wetlands. The number of determinations in the corresponding cluster is 100%. Three indicators make the most significant total contribution to discrimination: the content of water soluble organic carbon, the degree of mineralization, and HCO_3^- anions. The content of organic carbon, mainly of fulvic nature, makes the most significant individual contribution to the discrimination. Decrease in water salinity, and increased concentration of carbon of humus nature, organic microimpurities, trace elements and ammonium nitrogen were statistically confirmed in the grouped tributaries of the third order in comparison with the tributaries of higher level. The limiting characteristics of water quality are total iron content and chemical oxygen demand (COD), which are determined primarily by the natural factor – high paludification of the studied area. The water of mainly small (wetland) rivers does not meet sanitary-hygienic requirements.

Key words: tributaries of the Middle Ob, macro- and microcomponent composition, biogenic elements, watersoluble humus compounds, organic microimpurities, water quality, tributaries of different orders, multivariate statistical analysis

Введение

Водные ресурсы занимают особое положение среди природных богатств Земли, являясь необходимым условием воспроизводства живого органического мира. Потребление воды растет стремительными темпами и удваивается каждые 8–10 лет [20]. Истощение и загрязнение водных объектов интенсивно нарастают, создавая реальную угрозу дефицита пресной воды [5, 25–27, 29 и др.]. Вода становится стратегическим ресурсом и инструментом международной политики: высказываются мнения об особой ответственности России за водообеспеченность населения Земли (наряду с Бразилией и Канадой она обладает основным водным потенциалом планеты) [6].

Главный источник пресной воды – реки. Одним из крупнейших водных объектов на земном шаре является Обь-Иртышский бассейн. Сообразно природно-климатическим зонам и ландшафтно-экологическим условиям с учетом степени минерализации поверхностных вод выполнено их ранжирование на семь типов [8]. Доминируют воды IV типа, приуроченные к таежной зоне. Они занимают 61% площади бассейна, отличаются малой величиной минерализации и выраженной меридиональной протяженностью. В местах активной нефтедобычи и высокой антропогенной нагрузки поверхностные воды отнесены к классу «очень загрязненных».

Характеристика химического состава пресных вод таежной зоны на примере Томской области дана также в монографии [17]. В ней представлена обширная библиография по изучению водных ресурсов этой территории (ограничимся ссылкой на данный источник, дабы не повторяться). Показано, что в макрокомпонентном составе речных вод содержание главных ионов варьирует в достаточно широком диапазоне. Установлено, что крупные и средние реки (Васюган, Кеть, Тым, Парабель, Чая, Шегарка) образуют некоторые совокупности, в пределах которых выделяются подгруппы по макрокомпонентному составу в зависимости от показателей, используемых в анализе (сумма ионов, хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты, кальций, ХПК). Поверхностные воды Томской области, испытывая антропогенное воздействие, в той или иной мере загрязнены. Однако формы его проявления не всегда очевидны и в ряде случаев преувеличены: в настоящее время крайне мало информации, в частности, о фоновых концентрациях растворенных химических веществ в водных объектах.

Такое положение, на наш взгляд, связано с недостаточной изученностью химизма малых, в том числе, болотных рек: малообжитые земли среднего и нижнего течения Оби являются преимущественно трудно доступной территорией. Поэтому сочли целесообразным, наряду с крупными и средними реками, охватить исследованиями большее (объективно доступное) количество малых рек, выявить возможные отличия их химизма от рек более высокого порядка и сопоставить степень пригодности для хозяйственно-бытового водоснабжения. Цель работы – выполнить объективную группировку притоков Средней Оби разных порядков по химическому составу и оценить качество вод выделенных кластеров. Частные задачи: а) выявить статистически

значимые показатели дискриминации водных объектов, б) подтвердить объективность группировки формализованными методами, в) дать геохимическую характеристику объединенным рекам, г) выявить загрязняющие компоненты, превышающие величину ПДК, и оценить пригодность вод для питьевого и рекреационного водопользования.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования послужили малые и средние реки – притоки 1–4 порядков Оби в пределах южнотаежной подзоны Западной Сибири. Рельеф преобладающей части бассейна представлен плоской, полого-увалистой поверхностью с незначительным, преимущественно неприметным уклоном к крупным водотокам. В пределах этой территории насчитывается 18100 рек, более 37% местности (116153 км²) покрыто болотами: площадь олиготрофных составляет 17%, мезотрофных – 15,6, эвтрофных – 4,4% [17]. Естественно, что истоками большинства рек служат болотные массивы, роль которых в формировании химического состава речных вод специфична в зависимости от типов болот.

Гидрохимические особенности болотных экосистем различного водно-минерального питания в большей мере отражают реакция среды (рН), степень минерализации и содержание водорастворимого органического углерода [2, 3, 12]. Охарактеризуем перечисленные признаки обобщенными (средними) показателями по нашим последним исследованиям 46 олиготрофных, 37 мезотрофных и 34 эвтрофных болот. Воды олиготрофных и мезотрофных болот находятся в интервале кислой среды (соответственно средние рН 4,0–4,6), отличаются низкой величиной минерализации ($\Sigma_{\text{и}} - 25,6-31,8$ мг/л) и высоким содержанием органического углерода ($C - 56,5-69,9$ мг/л). Отношение $C_{\text{орг}} / \Sigma_{\text{и}}$, равное 2,2, характеризует преимущественно органогенную специфику этих вод. Воды эвтрофных болот отличаются нейтральной реакцией среды, большей величиной минерализации (319,6 мг/л) и низкой обогаченностью углеродом: отношение $C_{\text{орг}} / \Sigma_{\text{и}}$ составляет 0,1. Согласно непараметрическому критерию Вилкоксона, гидрохимические показатели олиготрофных и мезотрофных болот сходны между собой, но статистически достоверно отличаются от эвтрофных болот (p -уровень значимости $<0,001$).

Объектами комплексного изучения химического состава речных вод стали 26 притоков Средней Оби разных порядков в течение июня (паводок) и октября (межень) 2008–2010 гг. Они относятся к крупным, средним и малым рекам равнинной территории бассейна. Название рек и их географические координаты следующие.

Главная река – Обь 56°31'504"N–84°09'469"E (выше п. Победа).

Притоки первого порядка: Шегарка 57°06'638"N–83°54'738"E, Чигас 58°32'839"N–81°48'463"E, Бровка 57°19'354"N–83°55'771"E, Парабель 58°42'807"N–81°22'198"E, Чемондаевка 57°52'443"N–83°11'486"E, Васюган 58°56'219"N–80°23'889"E, Чая 58°04'469"N–82°48'024"E, Панигадка 59°01'301"N–80°53'683"E, Шуделька 58°26'055"N–82°05'892"E. Притоки второго порядка: Мура 56°49'674"N–83°26'178"E, Вяловка 58°40'751"N–81°28'110"E, Икса 56°51'694"N–83°04'465"E, Наушка 58°55'232"N–80°18'905"E, Бакчар 57°09'065"N–82°12'735"E, Кочебиловка 58°55'579"N–80°22'995"E, Большой Татош 57°37'266"N–83°31'973"E, Лозунга 58°59'101"N–80°39'484"E. Притоки третьего порядка: Жуковка 56°20'605"N–84°35'555"E, Тетеренка 56°59'502"N–82°19'060"E, Верхняя Мура 56°51'438"N–83°20'884"E, Костиха 57°02'351"N–82°20'132"E, Нижняя Яря 56°54'521"N–83°03'863"E, Галка 57°02'416"N–82°03'919"E, Гавриловка 56°55'392"N–82°45'207"E. Притоки четвертого порядка: Еловка 56°23'710"N–84°34'043"E.

Комплексный анализ химии поверхностных вод, включающий величину рН, содержание главных и биогенных ионов, водорастворимого углерода, гуминовых и фульвокислот, выполнен по общепринятому в гидрохимии руководству [21]. Калий, натрий, водорастворимые тяжелые металлы, сера – по методическим указаниям [10, 14, 16]. Состав органических микрокомпонентов изучен на газовом хроматографе с масс-спектрометром (модель 6890/5975С, Agilent, США) на стандартной неполярной капиллярной колонке HP-5MS в соответствии [7]. Вероятность идентификации веществ была не ниже 90%.

Статистический анализ выполнен в программе Excel и Statistica 6 [22].

Результаты и их обсуждение

Формализованная классификация. Чтобы структурировать реки по химическому составу вод, т.е. разбить на группы схожих объектов, выполнили кластерный анализ. Использовали средние за период наблюдений оценки комплекса показателей: содержание органического углерода, мг/л, реакцию

среды (рН), величину минерализации ($\Sigma_{и}$ – сумму ионов, мг/л), концентрацию ионов: HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , PO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , K^+ , Na^+ , ммоль/л. На дендрограмме четко выделилось пять кластеров, объединяющих реки различных порядков (рис. 1А). Обособилась главная р. Обь. Реки первого порядка объединились в самостоятельный кластер I, малые реки третьего и четвертого порядков – в кластер IV. Реки второго порядка в одних случаях примкнули к средним рекам (кластер II), в других – к малым (кластер III). Причина, вероятнее всего, обусловлена степенью дренированности местности

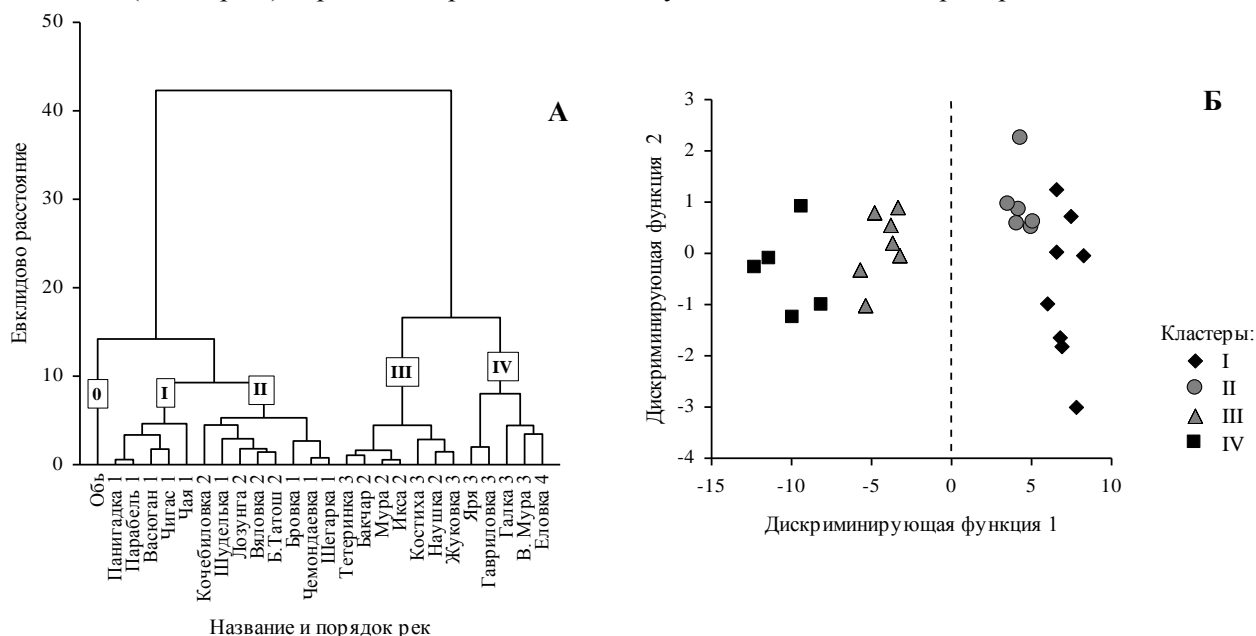


Рис. 1. Древоидная кластеризация (А) и диаграмма рассеяния канонических значений дискриминирующих функций (Б) по химическому составу речных вод таежной зоны р. Обь

и интенсивностью водообмена, которая является управляющим фактором регулирования практически всех процессов формирования химического состава и гидрохимического стока, согласно [17]. Как известно, по мере увеличения площадей водосборов в результате увеличения глубины эрозионного вреза речных русел усиливаются дренирующая роль и величина стока данного бассейна. Так, реки второго порядка Кочевилровка, Лозунга, Вяловка, Большой Татош, которые вытекают из заболоченных лесных урочищ эвтрофного типа, объединились с притоками первого порядка, так как характеризуются достаточно большой площадью водосбора (примерно 340–600 км²), занятого суходольными лесами. Объединение притоков второго порядка и рек более высокого уровня может быть обусловлено также низкой величиной стока последних. Например, р. Шегарка первого порядка, характеризуясь нормой стока 17,3 м³/с согласно [17], объединилась в кластер II с реками второго порядка. Сходные по площади водосбора реки Парабель и Чая с большими параметрами стока – 71,4 и 78,7 м³/с включились в кластер притоков только первого порядка. В то же время реки второго порядка, вытекающие из олиготрофных болот Васюганской равнины и рямов Иксинского болота, объединились с болотными реками в составе кластера III, так как характеризуются низкой нормой стока (например, реки Бакчар и Икса – 7,2 и 5,1 м³/с).

Таблица 1

Оценка межгрупповой дисперсии сгруппированных притоков таежной зоны р. Обь методом дискриминантного анализа

№ кластера	Квадраты расстояний Махаланобиса*, р-уровни значимости различий**				Матрица классификации				
	I	II	III	IV	% попаданий	I	II	III	IV
						число попаданий			
I	—	32,5	368,9	949,0	100	8	0	0	0
II	0,008	—	244,4	729,2	100	0	6	0	0
III	< 0,001	< 0,001	—	143,4	100	0	0	7	0
IV	< 0,001	< 0,001	< 0,001	—	100	0	0	0	5
					Итоги классификации				
					100	8	6	7	5

Примечание: * – над чертой, ** – под чертой.

Кластеризация – описательная процедура, позволяющая провести предварительный (разведочный) анализ структуры исследуемых объектов без статистической оценки полученных результатов. Достоверность межгрупповых различий оценили с помощью дискриминантного анализа. Как следует из табл. 1, все сгруппированные реки достоверно различаются между собой с высоким уровнем значимости.

Четкая дискриминация речных вод по химическому составу подтверждается также количеством правильно классифицированных наблюдений: попадание в соответствующий кластер составляет 100%. Наиболее существенными для дискриминации являются четыре из 12 предикторов: содержание углерода, величина минерализации, анионы HCO_3^- , Cl^- (табл. 2). О высоком персональном вкладе этих переменных в дискриминацию свидетельствуют показатели лямбды и F -критерия.

Таблица 2

Вклад показателей химического состава вод в дискриминацию сгруппированных притоков бассейна р. Обь

Пере- менные	Результаты дискриминации			
	λ Уилкса	Частная λ	F -критерий	p -уровень
Оценка качества модели: лямбда Уилкса 0,0007, F -критерий 7,60, p -уровень < 0,001				
$\Sigma_{\text{и}}^*$	0,0016	0,485	3,89	0,040
pH	0,0014	0,526	3,30	0,062
C	0,0174	0,043	80,78	<0,001
HCO_3^-	0,0018	0,415	5,17	0,018
SO_4^{2-}	0,0012	0,618	2,26	0,138
Cl^-	0,0017	0,439	4,69	0,024
PO_3^-	0,0008	0,919	0,32	0,809
Ca^{2+}	0,0011	0,690	1,65	0,235
Mg^{2+}	0,0012	0,644	2,03	0,168
Fe^{2+}	0,0011	0,699	1,58	0,250
K^+	0,0011	0,714	1,47	0,276
Na^+	0,0008	0,910	0,36	0,782

Примечание: * $\Sigma_{\text{и}}$ – сумма ионов.

Чтобы ограничиться меньшим числом наиболее коррелированных переменных, выполнили канонический анализ путем вычисления дискриминирующих функций (корней) и определения веса каждой переменной. Максимальное число оцениваемых функций равно числу значимых предикторов минус единица, в нашем случае оцениваются три канонических корня. Согласно табл. 3, статистики χ^2 и p -уровень свидетельствуют: эффективно в дискриминации кластеров рек участвует только один канонический корень и близкое к нулю значение λ -статистики говорит о высоком разграничении кластеров рек по данному корню.

Таблица 3

Собственные значения канонических функций, их дискриминирующая способность и статистическая значимость

Дискри- ми- рующая функция	Собственное значение	Дискриминирующая возможность, %	Каноническая корреляция, R	λ -статистика Уилкса	Статистика хи-квадрат, χ^2	p -уровень
0	52,52	99,1	0,99	0,012	93,1	<0,001
1	0,47	0,9	0,56	0,667	8,5	0,203
2	0,02	0,0	0,15	0,978	0,5	0,788

Дискриминирующая мощность канонической функции оценивается собственными значениями каждого корня, выраженными в процентах к сумме всех собственных значений. На долю первой функции приходится 99% общих возможностей, дискриминирующая сила ее чрезвычайно мощная.

Согласно стандартизованным коэффициентам, которые определяют величину и направление вклада каждой переменной в каноническую функцию, наибольший вклад в дискриминацию вносят следующие показатели: сумма ионов, гидрокарбонаты и содержание углерода (табл. 4). Вклад хлоридов оказался минимальным. Так как на расчет стандартизованных коэффициентов оказывает влияние взаимная корреляция переменных, вклад одного коэффициента может частично погашаться

вкладом другого, снижая их абсолютные значения. Поэтому рассмотрим так называемые структурные коэффициенты, которые показывают корреляцию дискриминирующей функции с отдельной переменной. Как следует из таблицы, дискриминирующая функция 1 очень тесно связана только с содержанием углерода.

Таблица 4

Анализ весов канонических переменных

Коэффициенты канонических переменных	Каноническая переменная			
	Σ_{II}	C	HCO_3^-	CL^-
Стандартизованные коэффициенты	-1,61	-1,03	1,58	0,31
Структурные коэффициенты	0,17	-0,96	0,17	0,02

Межгрупповая и внутригрупповая вариации кластеров рек наглядно представлены на диаграмме рассеяния значений канонических коэффициентов для каждой пробы вод (рис. 1Б). Наблюдения, принадлежащие одинаковым совокупностям, локализуются в определенных областях плоскости. Четыре совокупности ясно разграничиваются по дискриминирующей функции 1 (ось абсцисс). Кластеры I и II представлены на диаграмме точками далеко справа (средние значения дискриминирующей функции 6,97 и 4,29). Кластеры III и IV занимают крайнюю левую позицию двумерного пространства (-10,24 и -4,34). Таким образом, отчетливо формируются два облака, одно – в положительной области диаграммы, другое – в отрицательной. Полученная конфигурация отражает выраженное сходство химизма вод кластеров I и II, в составе которых доминируют притоки первого порядка, а также кластеров III и IV, объединяющих преимущественно притоки третьего порядка. Итоги канонического анализа адекватны квадратам расстояния Махаланобиса (мера близости), которые оценивают межгрупповую дисперсию кластеров (табл. 1).

Геохимическая классификация. Приводим химический состав вод сгруппированных притоков таежной зоны р. Обь по формуле М.Г. Курлова [4]:

кластер 0 – $[C_4] M_{162} \frac{HCO^3_{43}}{Ca_{31}Mg_{14}Na_6} pH_{7,5}$, главная р. Обь,

кластер I – $[C_{14}] M_{328} \frac{HCO^3_{46}}{Ca_{38}Mg_9} pH_{7,6}$, кластер II – $[C_{11}] M_{427} \frac{HCO^3_{48}}{Ca_{38}Mg_{11}} pH_{7,8}$,

кластер III – $[C_{32}] M_{199} \frac{HCO^3_{48}}{Ca_{35}Mg_{10}} pH_{7,5}$, кластер IV – $[C_{43}] M_{156} \frac{HCO^3_{47}}{Ca_{33}Mg_{10}} pH_{6,9}$,

где C – содержание органического углерода, M – величина минерализации.

В соответствии с геохимической классификацией А.И. Перельмана [9], воды изучаемых рек таежной зоны следует отнести к типу кислородных, классу слабощелочных и нейтральных, к семейству пресных, мягких (р. Обь, кластеры III и IV), пресных, средней жесткости (кластеры I и II), все речные воды – к виду гидрокарбонатно-кальциевых. В качестве критерия рода вод в названной классификации рассматривается содержание растворенного органического вещества (РОВ), однако приводится лишь качественная оценка вод – богатые, бедные и промежуточные по количеству РОВ. Мы разработали количественные оценки рода речных вод таежной зоны. За основу приняли показатели ПДК по химическому потреблению кислорода ХПК [11]. Величина ХПК 15 мг/л, соответствующая 6 мг/л углерода, отвечает санитарной норме питьевого водопотребления. На этом основании содержание в водах $C \leq 6$ мг/л оценили как низкое. ПДК по химическому потреблению кислорода, равная 30 мг/л (11 мг/л C), достаточна для рекреационного водоснабжения, поэтому $C \geq 6-11$ мг/л приняли как среднее. Концентрацию $C > 11$ мг/л квалифицировали как высокое. На основании этих оценок воды р. Обь относим к роду с низким содержанием РОВ, кластеры I и II – в основном к среднему, воды кластеров III и IV – к роду с высоким содержанием РОВ.

Таким образом, по сравнению с крупными реками в притоках, наиболее приближенных к болотным истокам (кластеры III и IV), наблюдаются: а) значительное повышение органических ингредиентов в составе водных потоков, б) явно выраженное снижение их минерализации, в) трансформация слабощелочных показателей рН до нейтральных.

С целью получения дополнительной информации о достоверности объединения притоков Оби обсудим показатели химического состава вод, которые не использовались в дискриминантном анализе.

Гидрология

Качественный состав органического углерода. Воды рек всех уровней однородны по составу органических компонентов. Доминируют соединения специфической гумусовой природы главным образом фульвокислоты, на долю которых приходится 79–87% общего углерода (рис. 2).

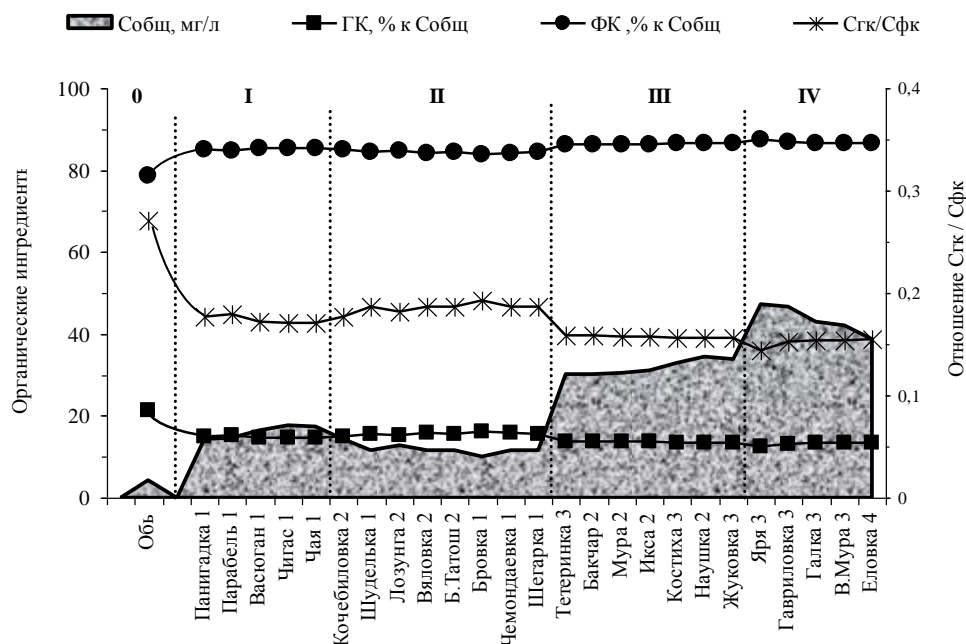


Рис. 2. Содержание общего органического углерода, гуминовых и фульвокислот, отношение Сгк/Сфк в реках бассейна Оби. Пунктирные вертикальные линии – границы объединения рек в кластеры (0–IV)

Отношение Сгк/Сфк, характеризуясь малой вариабельностью C_v – 1–3%, проявляет слабо выраженный тренд к снижению в водах болотных рек, значительно обогащенных РОВ. Тем не менее очевидно: главное участие углерода в дискриминации притоков разных порядков определяется количеством, а не качеством водорастворимых органических соединений.

Органические микропримеси. Впервые в бассейне Оби таежной зоны выполнен анализ органических микропримесей в водах не только крупных притоков, но и малых рек (табл. 5).

Таблица 5
Микроорганические примеси в водах сгруппированных притоков р. Обь, нг/л (10^{-9} г), октябрь 2009 г.

Состав микропримесей	Индексы кластеров								f_0, κ $n=10$
	I		II		III		IV		
	\bar{x}	f_i	\bar{x}	f_i	\bar{x}	f_i	\bar{x}	f_i	
Карбоновые кислоты									
Гексадеценовая	–	–	–	–	–	–	550,0	1	10
Пальмитиновая	92,9	1	–	–	66,5	2	202,7	3	60
Стеариновая	84,3	1	–	–	–	–	156,9	2	30
Сложные эфиры карбоновых кислот									
Метилвый эфир миристиновой кислоты	–	–	104,9	1	–	–	–	–	10
Этиловый эфир миристиновой кислоты	142,5	1	105,1	1	55,5	2	90,1	3	70
Метилвый эфир пальмитиновой кислоты	76	1	90,1	2	50,5	2	200,0	5	100
Этиловый эфир пальмитиновой кислоты	514,2	1	375,6	2	187,1	2	246,5	5	100
Метилвый эфир октадеценовой кислоты	–	–	–	–	–	–	126,4	1	10
Этиловый эфир октадеценовой кислоты	84,3	1	51,2	2	45,3	1	280,7	2	60
Этиловый эфир стеариновой кислоты	50,6	1	108,9	2	60,3	1	142,8	4	80
Углеводороды									
Триметилгексан	55,3	1	55,3	1	16,7	1	18,2	1	40
Тетраметилоктан	18,3	1	–	–	10,8	1	–	–	20
Тетрадекан	–	–	35,8	1	18,55	2	62,8	1	40
Метилпентадекан	–	–	–	–	35,5	2	78,7	1	30

Состав микропримесей	Индексы кластеров								f_0, κ $n=10$
	I		II		III		IV		
	\bar{x}	f_i	\bar{x}	f_i	\bar{x}	f_i	\bar{x}	f_i	
Углеводороды									
Пентадекан	–	–	–	–	–	–	67,2	1	10
Гексадецен	–	–	–	–	27	1	–	–	10
Гексадекан	–	–	–	–	–	–	122,1	1	10
Октадецен	–	–	–	–	11,9	1	–	–	10
Нанодецен	–	–	–	–	–	–	193,5	1	10
Докозан	–	–	31,4	1	16,8	1	71,7	3	50
Трикозан	–	–	–	–	–	–	46	1	10
Тетракозан	10,4	1	–	–	–	–	94,1	1	20
Пентакозан	35	1	–	–	30,1	1	109,3	1	30
Гексакозан	–	–	–	–	16,7	1	362,7	1	20
Терпеноиды									
Оксофорон	–	–	–	–	22	1	40,6	1	20
Миртеналь	–	–	–	–	–	–	186,4	1	10
γ -кадинен	–	–	–	–	14,2	1	256,5	1	20
Стероиды									
Стигмастан-3.5-диен	–	–	–	–	97,2	1	123,7	1	20
β -ситостерин	–	–	–	–	–	–	338,9	1	10
Ароматические соединения									
Бензальдегид	–	–	153,9	1	–	–	46,3	1	20
<i>n</i> -трет-бутилфенол	–	–	64,3	2	–	–	94,3	2	40
1.8-диизопропилнафталин	–	–	–	–	287,8	1	548,1	3	40

Примечание. n – число проб вод в анализе, \bar{x} – среднее, f_i – абсолютная и f_0 – относительная частота (%) встречаемости, прочерк – ниже порога обнаружения.

Идентифицирован достаточно обширный список преимущественно сложных эфиров карбоновых кислот и углеводов.

Сложные эфиры карбоновых кислот представлены семью соединениями в количестве от 50 до 376 нг/л. Практически во всех пробах вод присутствуют этиловый эфир миристиновой кислоты, этиловый и метиловый эфир пальмитиновой кислоты, этиловый эфир стеариновой кислоты (встречаемость от общего числа проб вод 70–100%). Карбоновые кислоты: идентифицировано всего три соединения с содержанием 66–550 нг/л, чаще других – пальмитиновая кислота (относительная встречаемость 60%). Углеводороды: преобладают парафины, начиная с 20 атомов углерода (козаны) в количестве 11–363 нг/л. Встречаемость 10–50% в основном в водах рек III и IV кластеров, близких к болотным истокам. В каждой четвертой из 10 проб вод идентифицируются триметилгексан и тетрадекан, в половине случаев – докозан. Терпеноиды, стероиды, ароматические соединения, обширные в природе группы органических соединений, характеризуются в таежных реках небольшим разнообразием и в малых количествах идентифицируются преимущественно в притоках нижнего уровня (кластер IV).

Таким образом, по мере снижения порядка рек возрастает число групп органических соединений и становится более неоднородным их качественный состав. Достоверность отличия IV кластера от других подтверждается высоким уровнем значимости (табл. 6). Все идентифицированные органические микропримеси природного генезиса, т.е. малые и средние реки таежной зоны Оби, не обнаруживают очевидного антропогенного воздействия.

Биогенные элементы. Содержание N-NH₄ в водах рек различных кластеров достоверно различается и характеризуется слабой вариабельностью (рис. 3А). Наибольшая концентрация аммонийного азота (среднее 1,63–2,1 мг/л) обнаруживается в водах рек преимущественно третьего порядка (кластеры III–IV), что в 2 раза выше, чем в крупных реках. Содержание в водах фосфора (P) по сравнению с азотом характеризуется высокой вариабельностью (рис. 3Б). В крупных реках (кластер I) среднее количество фосфора – максимальное (0,30 мг/л) и статистически значимо

отличается от рек более низкого порядка. Воды остальных группировок достоверно не различаются между собой.

Таблица 6

Достоверность различий сгруппированных притоков Оби по содержанию в водах микро- и биогенных элементов и органических микропримесей (*p*-уровень значимости критерия Вилкоксона)

Индекс кластера	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Микроэлементы, мкг/л				Аммонийный азот – N-NH ₄ , мг/л				
I	—	0,032	0,025	0,002	—	<0,001	<0,001	<0,001
II	0,032	—	0,001	0,000	<0,001	—	<0,001	<0,001
III	0,025	0,001	—	0,023	<0,001	<0,001	—	<0,001
IV	0,002	<0,001	0,023	—	<0,001	<0,001	<0,001	—
Фосфор – P, мг/л				Органические микропримеси, нг/л				
I	—	<0,001	0,002	0,006	—	0,985	0,958	<0,001
II	<0,001	—	0,133	0,100	0,985	—	0,592	<0,001
III	0,002	0,133	—	0,917	0,958	0,592	—	<0,001
IV	0,006	0,100	0,917	—	<0,001	<0,001	<0,001	—

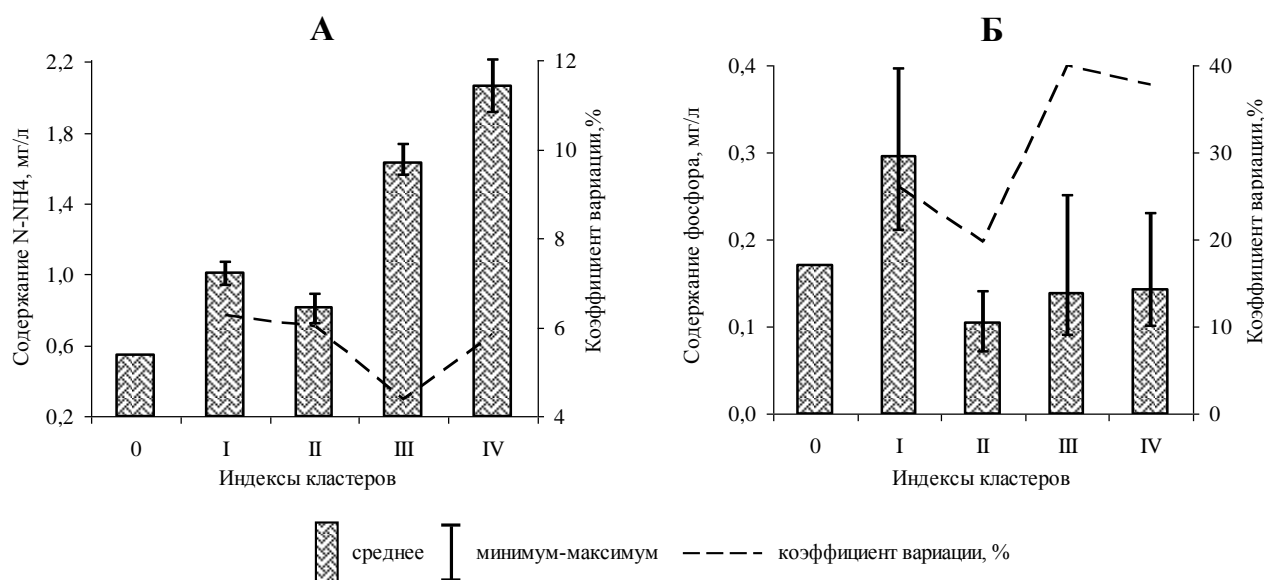


Рис. 3. Среднее содержание и вариабельность биогенных элементов в водах сгруппированных притоков таежной зоны р. Обь: А – N-NH₄, Б – общий фосфор (P)

Микроэлементы. Кластеры рек таежной зоны по сумме Mn, Sr, Cu, Zn, Ni, Al, Fe образуют следующий нисходящий ряд: IV (2348 мкг/л) > III (1710) > II (1632) > I (1304) > р. Обь (577 мкг/л) и достоверно различаются между собой (табл. 6). Наиболее обогащены ингредиентами воды рек третьего-четвертого порядков. Состав микроэлементов характеризуется высокой изменчивостью (*Cv* – 31–88%) и представлен в основном Fe, Sr, Al (рис. 4А). Доля алюминия в водах сгруппированных рек в принципе сходна, тогда как стронций и железо отчетливо отражают особенности химизма притоков разных порядков. Стронций в составе микроэлементов преобладает в водах преимущественно крупных рек и составляет 70–80%. По мере снижения порядка рек его доля сокращается в 3–4 раза. На этом фоне в водах малых рек резко повышается количество железа и достигает 50–63%.

Содержание Mn, Cu, Zn, Ni находится в пределах 7–33 мкг/л, что к общей сумме микроэлементов составляет 0,5–1,2% (рис. 5А, Б). Содержание меди и никеля в водах бассейна Оби относительно равное, а в реках третьего порядка, преимущественно болотных (кластер IV), проявляется тенденция накопления Zn и в большей мере Mn.

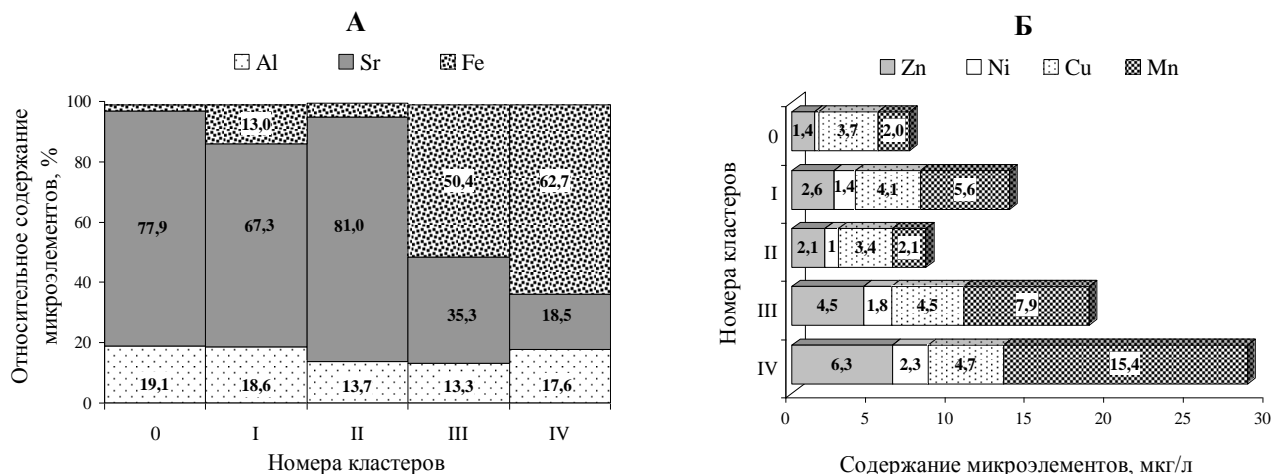


Рис. 4. Микрокомпонентный состав вод сгруппированных притоков р. Обь: А – относительное содержание ингредиентов, %, Б – абсолютное содержание цинка, никеля, меди и марганца, мкг/л

Качество вод оценивали в соответствии с установленными гигиеническими нормативами, согласно которым содержание химических веществ не должно превышать их предельно допустимые концентрации (ПДК) в водных объектах [11, 18, 28]. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что только воды р. Обь выше п. Победа ($56^{\circ}31'504''N$ $-84^{\circ}09'469''E$) соответствуют нормам и требованиям к качеству водных объектов питьевого и хозяйственно-бытового водопользования. Сгруппированные по химическому составу воды притоков р. Обь таежной зоны также отвечают санитарным нормам по величине минерализации, содержанию хлоридов и сульфатов, щелочноземельных оснований, показателям pH, концентрации тяжелых металлов – Al, Cu, Mn, Zn, Ni, фосфора, аммонийного азота, качественному и количественному составу органических микропримесей.

Качество таежных рек лимитируется преимущественно содержанием общего железа и показателем концентрации органических веществ – ХПК (бихроматная окисляемость). Установлено, в водах рек главным образом первого порядка (кластеры I–II) содержание железа составляет в среднем 0,1–0,17 мг/л (не превышает ПДК 0,3 мг/л) (рис. 5А). В реках преимущественно третьего порядка (кластеры III–IV), водные потоки которых формируются непосредственно в болотах, количество железа достигает 0,9–1,5 мг/л (3–5 ПДК). Согласно оценкам [15], выявленная кратность превышения ПДК соответствует экстремально высокому уровню загрязненности поверхностных вод. Железо относится к классу умеренно опасных химических веществ по органолептическим свойствам. При содержании железа свыше 1 мг/л вода при стоянии сильно мутнеет, приобретает затхлый запах и вкус [1]. Однако по нормативам Всемирной организации здравоохранения анаэробная колодезная вода, содержащая 1–3 мг/л железа, считается пригодной для питья [30].

Химическое потребление кислорода (ХПК) является одним из основных показателей, характеризующих степень загрязнения питьевых, природных и сточных вод органическими соединениями. По критериям хозяйственно-бытового водоснабжения (величина ХПК 15 мг/л) воды притоков преимущественно первого порядка характеризуются как умеренно загрязненные: кратность превышения ПДК составляет в среднем 2–2,5 раза (рис. 5Б). Для рекреационного водопользования (величина ХПК 30 мг/л) эти воды приближаются к санитарно-гигиеническому нормативу. Реки третьего-четвертого порядков относятся к загрязненным: в зависимости от категории водопользования превышение ПДК возрастает до 3–8 раз. Высокие величины ХПК, характеризующие общее количество в воде восстановителей (органических и неорганических), замедляют обменные процессы в организме человека и снижают интенсивность естественного самоочищения водных объектов.

Повышенные показатели ХПК и содержания железа в малых реках, водные потоки которых формируются в основном на болотах, определяются двумя факторами. Во-первых, замедленностью водообмена слабо дренированных территорий. Связь величины ХПК и модулей водного стока в водах бассейна Средней Оби статистически подтверждена [17]. Во-вторых, обогащенностью болотных вод органическими веществами преимущественно фульватной природы, с которыми железо, активно образуя органоминеральные комплексы, приобретает подвижное состояние.

Комплексные органические соединения, как известно, характерны для тайги, тундры и других ландшафтов влажного климата [9]. Таким образом, повышенное содержание железа и органического углерода в водах малых рек таежной зоны является природной нормой (фоном) и относить их к классу загрязненных следует с определенной условностью.

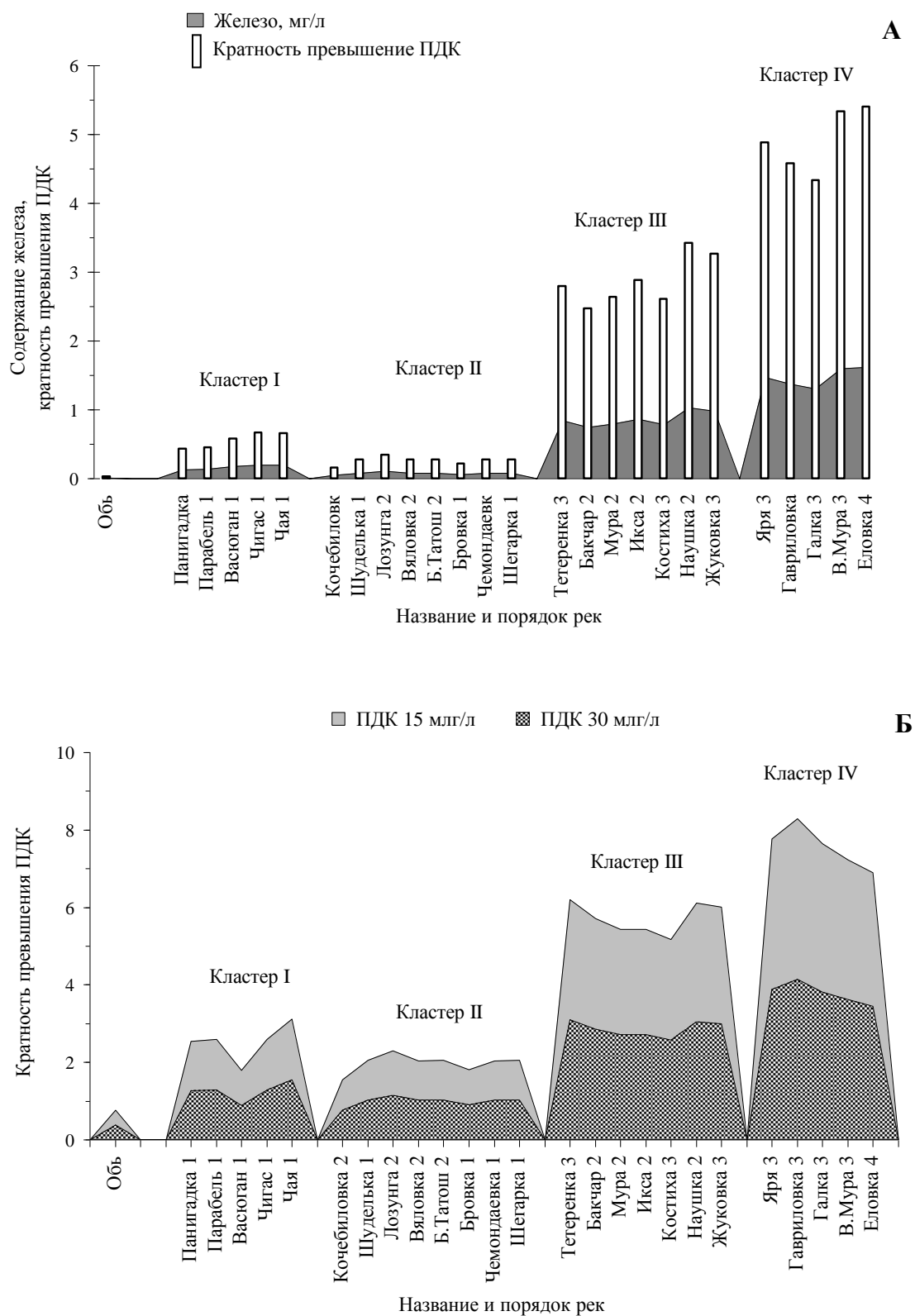


Рис. 5. Оценка качества вод сгруппированных рек таежной зоны р. Обь по кратности превышения ПДК: А – железо, Б – химическое потребление кислорода

Антропогенное загрязнение большинства поверхностных и подземных вод бассейна Оби носит локальный характер главным образом ниже крупных поселений и в районах нефтедобычи. Однако, благодаря высокому потенциалу самоочищения, р. Обь быстро восстанавливает свое экологическое состояние [13, 19, 23, 24], о чем свидетельствуют и представленные нами выше экспериментальные материалы.

Выводы

1. Впервые методами многомерного статистического анализа по химическому составу вод (содержание органического углерода, величина рН, степень минерализации, концентрация ионов HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , PO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , K^+ , Na^+) выполнена формализованная группировка 26 притоков Оби, которые относятся к крупным, средним и малым рекам равнинной территории бассейна в пределах южной тайги. Выделено четыре кластера. В самостоятельные группы объединились реки первого и третьего порядков. Реки второго порядка сгруппировались либо с притоками высокого, либо низкого уровня в зависимости от интенсивности водообмена и специфики речных истоков главным образом типов болот. Образованные кластеры достоверно различаются между собой: количество правильно классифицированных объектов составляет 100%.

На дискриминацию притоков значимое влияние совокупно оказывают три показателя: содержание углерода, величина минерализации, анионы HCO_3^- . Согласно каноническому анализу наибольший персональный вклад принадлежит органическому углероду.

2. Воды бассейна Оби относятся к классу слабощелочных и нейтральных. Притоки преимущественно первого и частично второго порядков – к семейству пресных, средней жесткости (кластеры I и II). Притоки главным образом третьего и частично второго порядков – к семейству пресных, мягких (кластеры III и IV). Все воды – к виду гидрокарбонатно-кальциевых. По содержанию растворенного органического вещества гумусовой, преимущественно фульватной природы (РОВ), воды кластеров I и II относятся к роду со средним содержанием РОВ, воды кластеров III и IV – с высоким содержанием РОВ.

По мере снижения порядка рек в водах возрастает содержание аммонийного азота, железа, количество органических микропримесей и становится более неоднородным их качественный состав.

3. Воды рек таежной зоны бассейна Оби не обнаруживают очевидного антропогенного воздействия: идентифицированные органические микропримеси относятся к веществам природного генезиса. Основными лимитирующими признаками качества вод являются: содержание общего железа и показатель концентрации органических веществ (ХПК). В объединенных притоках третьего-второго порядков вследствие высокой заболоченности территории кратность превышения ПДК данных показателей составляет 3–8 раз и является природной нормой. Поэтому относить такие воды к категории загрязненных следует с определенной условностью. Реки преимущественно первого порядка соответствуют категории питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения.

Библиографический список

1. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 443 с.
2. *Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Мелентьева Н.В.* Водные ресурсы болот России и оценка их химического состава // География и природные ресурсы. 1998. №2. С. 79–84.
3. *Инишева Л.И.* Условия формирования и геохимия болотных вод // Болота и биосфера: мат. второй науч. школы. Томск: Изд-во ТГПУ, 2003. С. 38–50.
4. *Курлов М.Г.* Классификация сибирских целебных минеральных вод. Томск: Изд-во Физиотерапевтического института, 1928. 73 с.
5. *Лозовик П.А.* Геохимическая классификация поверхностных вод гумидной зоны на основе их кислотно-основного равновесия // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. №6. С. 583–592.
6. *Маслов Б.С.* Гидрология торфяных болот. Томск: Изд-во Том. гос. пед. ун-та, 2008. 424 с.
7. МУК 4.1. 663-97 Определение массовой концентрации органических соединений в воде методом хромато-масс-спектрометрии: метод. указания. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. 41 с.
8. *Папина Т.С., Третьякова Е.И., Галахов В.П., Рыбкина И.Д., Стояцева Н.В., Кириллов В.В., Яныгина Л.В., Безматерных Д.М.* Результаты оценки вод Обь-Иртышского бассейна // Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. С. 71–82.
9. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М.: Астерия-2000, 1999. 768 с.

10. ПНД Ф 14.1:2.214-06 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации железа, кадмия, кобальта, марганца, никеля, меди, цинка, хрома и свинца в пробах природных и сточных вод методом пламенной атомно-абсорбционной спектrophотометрии / Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. М., 2006. 23 с.
11. *Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: гигиенические нормативы.* ГН 2.1.5.1315-03. М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003. 154 с.
12. *Рассказов Н.М.* Основные особенности химического состава болотных вод (на примере юго-восточной части Западной Сибири) // Известия Том. политехнического университета. 2005. Т. 308. №4. С. 55–58.
13. *Рассказов Н.М., Туров Ю.П., Шварцев С.Л.* Распределение органических компонентов в природных водах бассейна Верхней Оби по данным хромато-масс-спектрометрии // Основные проблемы охраны геологической среды. Томск: Изд-во ТГУ, 1995. С. 144–146.
14. РД 52.24.391-95 Методические указания. Методика выполнения измерений массовой концентрации натрия и калия в поверхностных водах суши пламенно-фотометрическим методом. Ростов н/Д., 1995. 14 с.
15. РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям / Росгидромет. Ростов н/Дону, 2002. 55 с.
16. РД 52.24.406-2006 Массовая концентрация сульфатов в водах. Методика выполнения измерений титриметрическим методом с хлоридом бария / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Ростов н/Д., 2006. 30 с.
17. *Савичев О. Г.* Водные ресурсы Томской области. Томск: Изд-во Томс. политех. ун-та, 2010. 248 с.
18. СанПиН 2.1.5.980-00 Гигиенические требования к охране поверхностных вод. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000. 18 с.
19. *Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша* / отв. ред. Ю.И. Винокуров, А.В. Пузанов, Д.М. Безматерных. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 236 с.
20. *Степановских А.С.* Охрана окружающей среды. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 559 с.
21. *Унифицированные методы анализа вод.* М.: Химия, 1973. 376 с.
22. *Халафян А.А.* Statistica 6. Статистический анализ данных. М.: ООО «Бином-Пресс», 2007. 512 с.
23. Шварцев С.Л., Савичев О.Г. Макро- и микрокомпонентный состав наиболее крупных притоков Средней Оби / Биологические и водные ресурсы. 1995. С. 103–108.
24. Шварцев С.Л., Савичев О.Г. Эколого-геохимическое состояние крупных притоков Средней Оби // Водные ресурсы. 1997. №6. С. 762–768.
25. *Arle J., Blondzik K., Claussen U.; Duffek A., Grimm S., Hilliges F., Hoffmann A., Leujak W., Mohaupt V., Naumann S., Pirntke U., Richter S., Schilling P., Schroeter-Kermani C., Ullrich A., Wellnitz J., Werner S., Wolter R.* Water Resource Management in Germany Part 2: Water quality / Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2014. 112 p.
26. *Boyd C.E.* Water Quality. Springer International Publishing, Switzerland, 2015. 352 p.
27. FAO. The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome and Earthscan, London, 2011. 285 p.
28. *Parameters of water quality: Interpretation and Standards.* Environmental Protection Agency, Ireland, 2001. 133 p.
29. *Sullivan P.J., Agardy F.J., Clark J.J.J.* The Environmental Science of Drinking Water. Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. 384 p.
30. *World Health Organization.* Guidelines for drinking-water quality [electronic resource: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq0506.pdf]. Incorporating first addendum. Vol. 1, Recommendations. 3rd ed. Electronic version for the Web. accessed on May 6, 2010.

References

1. Alekin, O.A. (1970), *Osnovy gidrokhimii* [Fundamentals of hydrochemistry], Gidrometeoizdat, Leningrad, USSR.
2. Efremova, T.T., Efremov, S.P., Melent'eva, N.V. (1998), “Water resources of wetlands Russia and estimating their chemical composition”, *Geografiya i prirodnye resursy*, no. 2, pp. 79–84.

3. Inisheva, L.I. (2003), *Usloviya formirovaniya i geokhimiya bolotnykh vod* [Formation and geochemistry of wetland waters], In: *Bolota i biosfera* [Wetlands and biosphere], Izd-vo TGPU, Tomsk, Russia, pp. 38–50.
4. Kurlov, M.G. (1928), *Klassifikatsiya sibirskikh tselebnykh mineral'nykh vod* [Classification of Siberian healing mineral waters], Izd. fizio-terapevticheskogo instituta, Tomsk, USSR.
5. Lozovik, P.A. (2013), “Geochemical classification of surface waters in humid zone based on their acid-base equilibrium”, *Vodnye resursy*, no. 6, pp. 583–592.
6. Maslov B.S. (2008), *Gidrologiya torfyanykh bolot* [Hydrology of peatlands], Izd-vo Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta, Tomsk, Russia.
7. MUK 4.1. 663-97 *Opreделение massovoy kontsentratsii organicheskikh soedineniy v vode metodom khromato-mass-spektrometrii. Metodicheskie ukazaniya* [Determination of the mass concentration of organic compounds in water by the method of chromato-mass-spectrometry. Guidelines], (1997), Informatsionno-izdatel'skiy tsentr Minzdrava Rossii, Moscow, Russia.
8. Papina, T.S., Tret'yakova, E.I., Galakhov, V.P., Rybkina, I.D., Stoyashcheva, N.V., Kirillov, V.V., Yanygina, L.V., Bezmaternykh, D.M. (2012), *Rezultaty otsenki vod Ob'-Irtyskogo basseyna* [Estimate results of waters of the Ob-Irtys basin], In: *Sovremennoe sostoyanie vodnykh resursov i funktsionirovanie vodokhozyaystvennogo kompleksa basseyna Obi i Irtysya* [Modern state of water resources and functioning of water management complex of the basin of the Ob and Irtys Rivers], Izd-vo SO RAN, Novosibirsk, Russia, pp. 71–82.
9. Perel'man, A.I., and Kasimov, N. S. (1999), *Geokhimiya landshafta* [Landscape geochemistry], Asteriya-2000, Moscow, Russia.
10. *PND F 14.1:2.214-06 Kolichestvennyy khimicheskyy analiz vod. Metodika vypolneniya izmereniy massovoy kontsentratsii zheleza, kadmiya, kobal'ta, margantsa, nikelya, medi, tsinka, khroma i svintsya v probakh prirodnykh i stochnykh vod metodom plamennoy atomno-absorbtsionnoy spektrofotometrii* [Quantitative chemical analysis of waters. Execution measurements technique of mass concentrations of iron, cadmium, cobalt, manganese, nickel, copper, zinc, chromium and lead in samples of natural and waste waters by flame atomic absorption spectrophotometry], (2006), Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere prirodnopol'zovaniya, Moscow, Russia.
11. *Predel'no dopustimyye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh ob'ektov khozyaystvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya: Gigienicheskie normativy. GN 2.1.5.1315-03.* [The drinking water directive (DWD) for contents of chemical substances in water objects of drinking and cultural-domestic water use: Hygienic standards. GN 2.1.5.1315-03.], (2003), Rossiyskiy registr potentsial'no opasnykh khimicheskikh i biologicheskikh veshchestv Ministerstva zdravookhraneniya Rossiyskoy Federatsii, Moscow, Russia.
12. Rasskazov, N.M. (2005), “Main features of chemical composition of swamp waters (on the example of the South-Eastern part of Western Siberia)”, *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, no. 4, pp. 55–58.
13. Rasskazov, N.M., Turov, Yu.P., Shvartsev, S.L. (1995), *Raspredelenie organicheskikh komponentov v prirodnykh vodakh basseyna Verkhney Obi po dannym khromatomass-spektrometrii* [The distribution of organic components in natural waters of the Upper Ob River basin according to the chromatomass-spectrometry], In: *Osnovnye problemy okhrany geologicheskoy sredy* [Basic problems of protection of geological environment], Izd-vo TGU, Tomsk, Russia, pp. 144–146.
14. *RD 52.24.391-95 Metodicheskie ukazaniya. Metodika vypolnenie izmereniy massovoy kontsentratsii natriya i kaliya v poverkhnostnykh vodakh sushy plamennofotometricheskim metodom* [RD 52.24.391-95 Methodical instructions. Technique of the mass concentration measurements of sodium and potassium in surface waters of the land by a flame photometric method], (1995), Rostov-na-Donu, Russia.
15. *RD 52.24.643-2002 Metod kompleksnoy otsenki stepeni zagryaznennosti poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam* [RD 52.24.643-2002 Method of complex estimate of the contamination degree of surface water by hydrochemical indicators], (2002), Rosgidromet, Rostov-na-Donu, Russia.
16. *RD 52.24.406-2006 Massovaya kontsentratsiya sulfatov v vodakh. Metodika vypolneniya izmereniy titrimetricheskim metodom s khloridom bariya* [RD 52.24.406-2006 Mass concentration of sulfate in waters. Methodology of measurement by titrimetric method with barium chloride], (2006), Federal'naya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy, Rostov-na-Donu, Russia.
17. Savichev, O.G. *Vodnye resursy Tomskoy oblasti* [Water resources of Tomsk region], (2010), Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, Tomsk, Russia.

18. *SanPin 2.1.5.980-00 Gigenicheskie trebovaniya k okhrane poverkhnostnykh vod* [DWD 2.1.5.980-00 Hygienic requirements to surface water protection], (2000), Federal'nyy tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, Moscow, Russia.
19. *Sovremennoe sostoyanie vodnykh resursov i funktsionirovanie vodokhozyaystvennogo kompleksa basseyna Obi i Irtysha* [Modern state of water resources and functioning of water management complex of the basin of the Ob and Irtysh Rivers], (2012), Yu.I. Vinokurov, A.V. Puzanov, D.M. Bezmaternykh, ed., Izd-vo SO RAN, Novosibirsk, Russia.
20. Stepanovskikh, A.S. (2001), *Okhrana okruzhayushchey sredy: uchebnyk dlya vuzov* [Environmental protection: textbook for universities], YuNITI-DANA, Moscow, Russia.
21. *Unifitsirovannye metody analiza vod* [Unified methods of water analysis], (1973), Khimiya, Moscow, USSR.
22. Khalafyan, A.A. (2007), *Statistica 6. Statisticheskiy analiz dannykh* [Statistica 6. Statistical analysis of data], ООО "Binom-Press", Moscow, Russia.
23. Shvartsev, S.L., Savichev, O.G. (1995), *Makro- i mikrokomponentnyy sostav naibolee krupnykh pritokov Sredney Obi* [Macro- and microcomponent composition of the major tributaries of the Middle Ob River], In: *Biologicheskies i vodnye resursy* [Biological and water resources], Tomsk, Russia, pp. 103–108.
24. Shvartsev, S.L., Savichev, O.G. (1997), "Ecological and geochemical condition of the major tributaries of the Middle Ob River", *Vodnye resursy*, no. 6. pp. 762–768.
25. Arle J., Blondzik K., Claussen U.; Duffek A., Grimm S., Hilliges F., Hoffmann A., Leujak W., Mohaupt V., Naumann S., Pirntke U., Richter S., Schilling P., Schroeter-Kermani C., Ullrich A., Wellnitz J., Werner S., Wolter R. (2014), *Water Resource Management in Germany Part 2: Water quality*, Bundesministerium fur Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin.
26. Boyd C.E. (2015), *Water Quality*. Springer International Publishing, Switzerland
27. FAO. *The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2011), Rome and Earthscan, London.
28. *Parameters of water quality: Interpretation and Standards*, (2001), Environmental Protection Agency, Ireland.
29. Sullivan P.J., Agardy F.J., Clark J.J.J. (2005), *The Environmental Science of Drinking Water*, Elsevier Butterworth-Heinemann.
30. World Health Organization. *Guidelines for drinking-water quality Incorporating first addendum*. Vol. 1, Recommendations. 3rd ed. Electronic version for the Web. [Electronic resource]. URL: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq0506.pdf (accessed: 06.07.2017).

Поступила в редакцию: 19.12.2017

Сведения об авторах

Ефремова Тамара Тимофеевна

доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Лаборатории фитоценологии и лесного ресурсоведения, Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН – Обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН; Россия, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/28

About the authors

Tamara T. Efremova

Doctor of Biological Sciences, Professor, Leading Researcher, Laboratory of Phytocoenology and Forest Resource Studies, V.N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Center "Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS", Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 50, bld. 28 Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia

e-mail: efr2@ksc.krasn.ru

Ефремов Станислав Петрович

доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник Лаборатории фитоценологии и лесного ресурсоведения, Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН – Обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН;

Stanislav P. Efremov

Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher, Laboratory of Phytocoenology and Forest Resource Studies, V.N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Center "Krasnoyarsk Science Center SB RAS", Siberian Branch of the

Россия, 660036, г. Красноярск, Академгородок,
50/28

Russian Academy of Sciences;
50, bld. 28 Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036,
Russia

e-mail: efr2@ksc.krasn.ru

Аврова Ада Фёдоровна

кандидат биологических наук, научный
сотрудник Лаборатории фитоценологии и
лесного ресурсосведения, Институт леса им. В.Н.
Сукачева Сибирского отделения РАН –
Обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО
РАН;
660036, Россия, г. Красноярск, Академгородок,
50/28

Ada F. Avrova

Candidate of Biological Sciences, Researcher,
Laboratory of Phytocoenology and Forest Resource
Studies, V.N. Sukachev Institute of Forest, Siberian
Branch of the Russian Academy of Sciences, Federal
Research Center “Krasnoyarsk Science Center SB
RAS”, Siberian Branch of the Russian Academy of
Sciences;
50, bld. 28 Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036,
Russia

e-mail: avrova@ksc.krasn.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Аврова А.Ф. Формализованная группировка притоков Оби таежной зоны по химическому составу вод // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. №2(45). С. 88–103. doi 10.17072/2079-7877-2018-2-88-103

Please cite this article in English as:

Efremova T.T., Efremov S.P., Avrova A.F. Formalized grouping of the water chemical composition of the Ob river tributaries in taiga zone // Geographical bulletin. 2018. №2(45). P. 88–103. doi 10.17072/2079-7877-2018-2-88-103

УДК 504.3.054

DOI 10.17072/2079-7877-2018-2-103-115

РАЗРАБОТКА РЕГИОНАЛЬНЫХ ПДК: НЕОБХОДИМОСТЬ, МЕТОДИКА, ПРИМЕР*

Анна Анатольевна Возняк

SPIN-код: 2436-8281, Author ID: 289675

e-mail: aavoznyak@gmail.com

Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал; Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь

Анатолий Павлович Лепихин

Scopus ID: 56370650100, SPIN-код: 7621-8001, Author ID: 147950

e-mail: lepihin49@mail.ru

Пермский федеральный исследовательский центр; Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь

В настоящее время основным показателем, определяющим допустимое содержание поллютантов в водных объектах, является система соответствующих предельно-допустимых концентраций (ПДК). Дан комплексный анализ действующей системы регламентации техногенных воздействий на поверхностные водные объекты. Указаны ее серьезные недостатки, связанные с недоучетом региональных гидрохимических особенностей конкретных водных объектов. Показаны пути ее совершенствования на основе максимально более полного учета региональных особенностей водных объектов. Предложена технология расчетов региональных ПДК на основе оценок непараметрических статистических показателей. Данная технология, в отличие от других методических подходов,