

УДК 556.53:574.5(571.151)

ТИПИЗАЦИЯ ГОРНЫХ РЕК БАССЕЙНА ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА НА ОСНОВЕ АБИОТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И СОСТОЯНИЯ АЛЬГОЦЕНОЗОВ

А.В. Котовщикова, А.В. Дьяченко, В.Л. Парадосский

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

E-mail: kotovschik@iwer.ru

*По материалам многолетних натурных экспедиционных исследований притоков олиготрофного Телецкого озера (19 рек) дана их современная комплексная сравнительная биогеоценологическая характеристика. Проанализированы основные ландшафтно-географические характеристики водосборов и русел (площадь и средняя высота водосбора, длина, уклон и порядок реки), физические и химические показатели воды (скорость течения, температура, мутность, pH, кислород, жесткость, минерализация, БПК₅, окисляемость, ХПК, минеральные формы азота и фосфора, фосфор общий, кремний), уровень развития и состояние альгоценозов планктона и эпилимниона по пигментным характеристикам (содержание хлорофилла *a*, доля хлорофиллов *a*, *b*, *c* в их сумме, относительное содержание феопигментов, пигментное отношение – E_{480}/E_{664}). На основании сравнительного анализа выполнена типизация притоков Телецкого озера отдельно по четырем группам параметров, а также по всему комплексу показателей. Наибольшим разнообразием отличаются ландшафтно-географические параметры, по которым выделено 8 типов рек. Менее всего отличается химический состав вод, по которому выделено 4 типа. Причем большинство изученных рек (12) относится к одному типу химического состава с очень низким содержанием минеральных солей и органических веществ. Выявлено существенное разнообразие типов рек по особенностям функционирования автотрофного компонента экосистем. Оно обусловлено различным уровнем обилия водорослей планктона и эпилимниона, а также различным соотношением вспомогательных фотосинтетических пигментов.*

Ключевые слова: горные реки; ландшафтно-географические показатели; физико-химические показатели; фитоэпилимнион; фитопланктон; хлорофилл; пигментные характеристики; типизация.

DOI: 10.24412/2410-1192-2025-17806

Дата поступления: 14.07.2025. Принята к печати: 8.09.2025

Озеро вместе с окружающими его ландшафтами составляет сложную единую природную систему. Рельеф и климат в сочетании с характером водосборного бассейна обуславливают особенности термодинамического и гидрохимического режимов озерных вод, создают важнейшие предпосылки гидробиологического режима и типа седиментации, определяют направленность эволюции лимноэкосистемы [Драбкова, Сорокин, 1979; Антонова, Севастьянов, 2004]. Важным направлением является изучение пространственной изменчивости экспорта компонентов геостока с водосборных бассейнов рек [Прокушкин и др., 2011]. Ландшафтные

условия на водосборе определяют физические свойства и химический состав воды в реках, которые в свою очередь определяют особенности развития биоты.

Телецкое озеро расположено на северо-востоке Горного Алтая. Водная поверхность располагается на абсолютной высоте 434 м. Протяжённость озера 77.8 км, максимальная ширина 5.2 км. Площадь поверхности озера 227 км², средняя глубина 174 м, максимальная – 323 м. Площадь водосбора составляет 20400 км². В озеро впадает около 70 рек и 150 временных водотоков, 70–75% притока даёт р. Чулышман. Вытекает одна р. Бия, которая в значительной мере обеспечивает питание

Оби. Значительное влияние водосборной территории на режим Телецкого озера обусловлено низким отношением площади водного зеркала к площади водосбора – 1:90 [Буслов и др., 2001]. Трофический статус озера по уровню развития фитопланктона оценивается как олиготрофный [Kirillova et al., 2009; Mitrofanova, 2018].

Притоки Телецкого озера весьма разнообразны, они отличаются ландшафтно-географическими характеристиками, химическим составом воды, особенностями развития водорослей в планктоне и перифитоне. Водосборные площади притоков практически не населены людьми, что обеспечивает естественное состояние большей части рек. Исключение составляют реки Окпорок и Чеченек (с. Яйлю), а также реки, имеющие в устьях туристическую инфраструктуру (Б. Корбу, Б. Эстюбэ). Наличие накопленных за много лет данных о притоках создало необходимость их комплексной сравнительной характеристики, что будет способствовать лучшему пониманию природных процессов формирования компонентов геостока. Такая характеристика позволит оценить вклад этих компонентов в общий приток веществ и энергии в Телецкое озеро, являющееся одним из крупнейших по объему хранилищ чистой пресной воды в мире.

Цель работы – сравнительная характеристика притоков Телецкого озера по ландшафтно-географическим параметрам русла и водосбора, физическим, химическим показателям воды и пигментным характеристикам водорослей планктона и эпилимтона.

Материалы и методы

В работе использованы оригинальные натурные данные многолетних экспедиционных исследований ИВЭП СО РАН, собранные в устьях рек в летне-осенние периоды 2004–2017, 2021, 2024 гг. В статью включены 19 наиболее изученных притоков озера (рис. 1).

Основные ландшафтно-географические характеристики большинства рек

(площадь и средняя высота водосбора, длина и уклон реки) взяты из работы В.В. Селегей [1978]. Данные характеристики для остальных рек, а также значения уклонов и порядков рек получены авторами (табл. 1).

Скорость течения в реках измеряли гидрометрической микровертушкой ГМЦМ-1; физико-химические параметры – многопараметрическим зондом YSI 6600 Sonde Environmental monitoring system компании YSI, Inc., USA (6-Series Multiparameter Water Quality Sondes). Использованные показатели: температура воды, pH, мутность, содержание растворенного кислорода, электропроводность. При отсутствии зонда температуру воды измеряли ртутным гидрологическим термометром. Химический состав воды анализировали по принятым методикам [Руководство..., 2009]. Исследованные показатели: общая минерализация, жесткость, общий фосфор, фосфатный фосфор, азот аммонийный, нитритный и нитратный, кремний, биохимическое потребление кислорода (БПК₅), перманганатная окисляемость (ПО), химическое потребление кислорода (ХПК). Аналитические работы по определению гидрохимических показателей выполнены научным сотрудником, к.х.н. Л.А. Долматовой и ведущим инженером Е.А. Овчаренко.

Водоросли из планктона и эпилимтона концентрировали на ацетат-целлюлозных мембранных фильтрах с диаметром пор 0.8 мкм. Эпилимтон смывали щеткой в фильтрованную воду в трех повторениях (с трех камней). Из полученного объема суспензии брали часть (аликвоту), которую концентрировали на фильтре. Площадь проекции камней измеряли по миллиметровой бумаге. Содержание фотосинтетических пигментов анализировали спектрофотометрическим методом в ацетоновом экстракте [Руководство..., 1992; ГОСТ 17.1.4.02-90]. Использовали следующие пигментные характеристики: содержание хлорофилла *a* (Хл *a*), долю хлорофиллов *a*, *b*, *c* в их сумме, относительное содержание феопигментов и пигментное отношение (E_{480}/E_{664}).

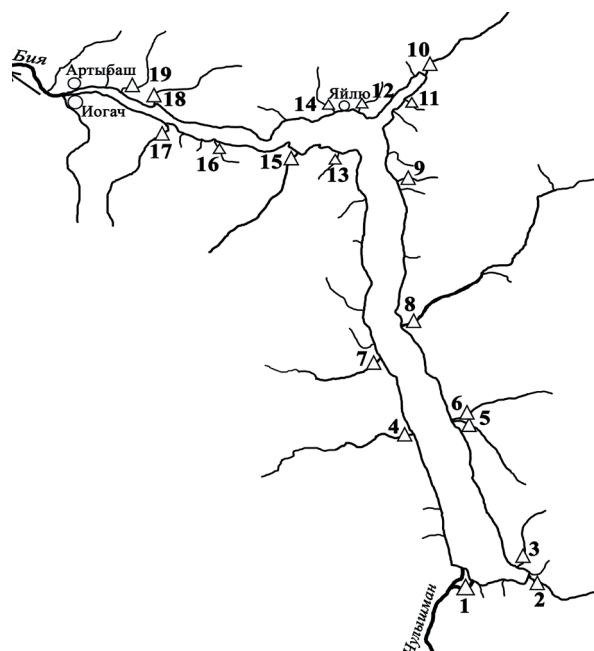


Рис. 1. Карта-схема Телецкого озера. Цифрами указаны пункты наблюдения на реках:
 1 – Чулышман, 2 – Кыга, 3 – Чири, 4 – Большие Чили, 5 – Баскон, 6 – Челюш, 7 – Малые Чили, 8 – Кокши,
 9 – Большие Корбу, 10 – Камга, 11 – Турочак, 12 – Окпорок, 13 – Ыдып, 14 – Чеченек, 15 – Колдор,
 16 – Большая Эстюбе, 17 – Самыш, 18 – Ойер, 19 – Тевенек

Fig. 1. Map of Lake Teletskoye. Numbers indicate observation points on the rivers:
 1 – Chulyshman, 2 – Kyga, 3 – Chiri, 4 – Bol'shie Chili, 5 – Baskon, 6 – Chelyush, 7 – Malye Chili, 8 – Kokshi,
 9 – Bol'shie Korbu, 10 – Kamga, 11 – Turochak, 12 – Okporok, 13 – Ydyb, 14 – Chechenek, 15 – Koldor,
 16 – Bol'shaya Estyube, 17 – Samysh, 18 – Oyer, 19 – Tevenek

Таблица 1

Ландшафтно-географические характеристики рек-притоков Телецкого озера

Table 1

Landscape and geographic characteristics of the tributary rivers of Lake Teletskoye

Река	Площадь водосбора, км ²	Средняя высота водосбора, м	Длина реки, км	Скорость течения*, м/с	Уклон реки, ‰	Порядок реки*
Чулышман	17200	2040	241	0.6	8.6	7
Кыга	512	1780	41	0.7	41	5
Чири	37	1630	11	1.3	150	2
Баскон	60.7	1660	13	0.8	110	3
Челюш	63.5	1680	13	0.6	110	3
Б. Чили	459	1670	48	0.7	34	4
М. Чили	110	1470	19	1.0	58	4
Кокши	456	1540	37	0.7	18	4
Б. Корбу	20.6	960	7.6	0.7	200	3
Турочак	5.3*	–	4*	1.0	136*	2
Камга	202	1040	23	0.4	31	4
Окпорок	13.1*	–	5.5*	0.6	88*	2
Чеченек	14.8	830	5.5	0.5	57	2
Ыдып	8.2*	–	4.5*	0.6	97*	2
Колдор	163	1200	23	0.5	44	4
Б. Эстюбе	18.5*	–	5.5*	0.6	228*	3
Самыш	159	1150	30	0.8	28	4
Ойер	56	880	14	1.0	57	3
Тевенек	21.5*	–	10*	0.6	40*	2

Примечание: прочерк – нет данных; * – данные авторов.

Результаты

Для всех рек были рассчитаны средние по всем наблюдениям (от 2 до 25) значения каждого показателя (таблицы 2–5). Все реки характеризуются низкой температурой (9.9–14.6 °С летом) и мутностью

(до 1.7 NTU), имеют нейтральную или слабощелочную активную реакцию среды (7.0–8.4), высокое содержание растворенного кислорода (8.6–11.3 мг/дм³), низкую жесткость (0.2–2.8 ммоль/дм³) и минерализацию (18–164 мг/дм³).

Таблица 2

Физико-химические показатели воды рек-притоков Телецкого озера
в летне-осенние периоды (min–max, M ± m)

Table 2

Physicochemical parameters in the water of Lake Teletskoye tributary rivers
in the summer-autumn periods (min–max, M ± m)

Река	Температура (летняя), °С	Мутность, NTU	pH	Кислород, мг/дм ³	Жесткость, ммоль/дм ³	Общая минерализация, мг/дм ³
Чулышман	9.4–18.6	1.2–2.8	7.4–8.2	7.8–11.1	0.6–1.2	62–122
	13.6±0.5	1.7±0.4	7.8±0.1	9.8±0.3	1.0±0.1	94±5
Кыга	6.8–15.6	<0.1	7.2–8.3	9.6–12.4	0.7–1.5	64–125
	10.8±0.4	–	7.8±0.1	10.5±0.3	1.1±0.1	96±5
Чири	6.8–15.4	0.2–1.6	6.9–7.9	10.9–11.6	0.2–0.5	26–48
	11.4±0.5	0.68±0.46	7.4±0.1	11.2±0.3	0.4±0	37±3
Баскон	9.7–13.3	0–0.5	7.1–7.4	9.6–11.7	0.2–0.4	16–43
	11.3±0.9	0.2±0.2	7.3±0.1	11.0±0.7	0.3±0.1	30±5
Челюш	7.9–15.3	0–1.4	6.9–8.0	7.7–11.6	0.2–0.3	16–36
	11.6±0.5	0.6±0.4	7.4±0.1	10.1±0.4	0.3±0	25±2
Б. Чили	7.6–13.9	0–1.8	7.5–8.4	10.0–12.0	0.9–1.3	78–113
	11.2±0.5	0.8±0.4	7.9±0.1	10.7±0.3	1.2±0.1	98±3
М. Чили	7.5–13.6	0.3–1.5	6.7–8.1	7.7–11.6	0.7	53–89
	10.7±0.5	0.9±0.6	7.7±0.1	9.8±0.5	0.7±0	67±3
Кокши	7.7–16.4	0–0.2	6.1–8.0	8.1–13.0	0.1–0.3	12–23
	12.3±0.6	0.1±0.1	7.1±0.1	10.4±0.5	0.2±0	18±1
Б. Корбу	7.6–15.1	0–1.8	6.3–7.9	8.6–14.8	0.1–0.2	10–25
	12.3±0.5	0.4±0.	7.1±0.1	10.9±0.5	0.2±0	18±1
Турочак	12.6–13.6	0.59–3.15	7.8	9.94	–	40
	13.0±0.3	12.3±0.5	–	–	–	–
Камга	10.3–18.0	0.1–0.3	7.0–7.7	9.0–14.0	–	50–67
	12.7±1.0	0.2±0.1	7.3±0.1	10.9±0.6	–	60±3
Окпорок	10.2–16.7	0.49	7.3–8.6	9.9–11.1	0.7–0.8	55–110
	13.7±0.5	–	7.8±0.2	10.5±0.4	0.7±0	81±8
Чеченек	9.4–14.6	0.4	7.7–8.4	8.7–11.0	1.2–2.2	93–190
	12.9±0.4	–	8.1±0.1	10.0±0.6	1.7±0.2	140±11
Ыдып	7.3–12.4	1.5–1.9	7.9–8.1	8.6–11.1	2.8	93–235
	9.9±2.6	1.7±0.2	8.0±0.1	9.9±1.3	–	164±71
Колдор	6.7–14.1	1.7	7.8–8.3	7.4–13.7	1.2–1.4	97–152
	10.1±1.0	–	8.0±0.1	11.3±0.7	1.3±0.1	125±9
Б. Эстюбе	7.1	1.1	7.9	10.6	1.33	115
Самыш	7.4–20.4	0.9–1.5	7.0–8.0	7.9–11.8	–	88–138
	13.8±1.2	1.2±0.2	7.7±0.1	9.8±0.7	–	115±9
Ойер	13.2–15.8	2.9	8.0–8.6	9.5–12.2	–	119–123
	14.6±0.6	–	8.4±0.1	11.0±0.5	–	121±2
Тевенек	10.8–17.7	1.5–14.3	7.8–8.1	9.0–11.2	–	88–92
	13.2±1.2	7.5±2.7	7.9±0.1	10.1±0.3	–	90±2

Примечание: прочерк – нет данных.

Таблица 3

Органические и биогенные вещества в воде рек-притоков Телецкого озера
в летне-осенние периоды (min–max, $M \pm m$)

Table 3

Organic and biogenic substance content in the water of Lake Teletskoye tributary rivers
in the summer-autumn periods (min–max, $M \pm m$)

Река	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	ПО, мгО/дм ³	ХПК, мгО/дм ³	PO ₄ ³⁻ , мкгP/дм ³	P _{общ.} , мкгP/дм ³	NH ₄ ⁺ , мгN/дм ³	NO ₂ ⁻ , мкгN/дм ³	NO ₃ ⁻ , мгN/дм ³	Si, мг/дм ³
Чулышман	0.6–1.9	0.8–4.0	3.0–9.1	1–13	7	0.008–0.29	0–7	0.05–0.18	2.4–2.6
	1.1±0.4	2.1±0.7	5.1±1.4	4±1	–	0.05±0.02	2±1	0.12±0.02	2.5±0.1
Кыга	0.8–1.5	0.5–2.5	9.4	1–33	6	0.007–0.29	0–3	0.01–0.33	2.6
	1.1±0.3	1.4±0.4	–	5±3	–	0.05±0.03	2±0	0.23±0.03	–
Чири	0.2	1.1–2.2	9.5–14.4	1–11	13	0.002–0.18	0–4	0.02–0.33	3.7
	0.2	1.6±0.2	11.9±2.5	4±1	–	0.04±0.02	2±0	0.21±0.03	–
Баскон	0.5	1.8–1.9	–	2	–	0.03–0.05	2	0.06–0.27	–
	–	1.8±0.1	–	2±0	–	0.04±0.01	2±0	0.17±0.11	–
Челюш	0.5–0.8	1.6–2.4	3	1–4	–	0.003–0.45	0–2	0.16–0.41	–
	0.7±0.2	2.0±0.2	–	2±0	–	0.077±0.05	1±0	0.28±0.03	–
Б. Чили	0.6–0.7	0.8–1.3	–	1–18	12	0.003–0.12	0–2	0.018–0.33	2.8
	0.7±0.1	1.0±0.1	–	5±2	–	0.04±0.01	2±0	0.20±0.03	–
М. Чили	0.8–1.4	1.7–3.6	7.3	2–12	21	0.005–0.51	0–4	0.02–0.30	3.1
	1.1±0.3	2.2±0.5	–	4±1	–	0.09±0.07	2±0	0.15±0.03	–
Кокши	0.75–1.6	1.8–3.7	6.3	1–23	23	0.008–0.12	0–2	0.04–0.31	3.0
	1.2±0.4	2.8±0.4	–	6±3	–	0.048±0.01	2±0	0.17±0.03	–
Б. Корбу	0–0.5	2.0–3.1	5.0	1–7	–	0.005–0.09	0–5	0.10–0.37	–
	0.2±0.2	2.4±0.2	–	3±1	–	0.044±0.01	2±1	0.18±0.04	–
Камга	0.2–1.5	1.5	3.2	4	5	0–0.020	2–8	0.03	2.3
	0.8±0.4	–	–	–	–	0.01±0.01	5±3	–	–
Окпорок	0.6–1.7	3.3–5.3	6.8–12.5	2–10	5	0.001–0.09	1–3	0.07–0.16	–
	1.2±0.6	4.3±0.5	10.1±1.7	4±1	–	0.042±0.01	2±0	0.12±0.01	–
Чеченек	0.6–0.8	1.8–4.3	18.2–31.2	2–20	21	0.01–0.06	0–3	0.04–0.30	3.6
	0.7±0.1	3.1±0.4	24.7±6.5	5±2	–	0.030±0.01	2±0	0.19±0.02	–
Ыдып	0.4–0.6	0.9	3.0–10	2–17	5	0.002–0.03	2	0.94–0.99	–
	0.5±0.1	–	6.5±3.5	9±7	–	0.02±0.01	–	0.97±0.02	–
Колдор	0.6–0.6	1.1–3.2	3.0–3.2	2	–	0.07	2	0.37	–
	0.6±0	2.1±1.1	3.1±0.	–	–	–	–	–	–
Б. Эстюбе	1.2	1.0	–	8	–	0.03	2	0.46	–
Самыш	0.8–1.4	1.3–3.1	4.2–4.3	2–11	11–13	0.03–0.06	2–4	0.04–0.26	1.9–2.7
	1.1±0.3	2.1±0.5	4.3±0.1	5±2	12±1	0.04±0.01	3±1	0.17±0.05	2.3±0.4
Ойер	0.4–1.9	7.2	20.2	–	–	0.024	26	–	–
	1.1±0.8	–	–	–	–	–	–	–	–
Тевенек	1.3–1.9	9.5	8.4–23.5	–	5	0.03–0.14	5–32	–	–
	1.5±0.1	–	13.9±4.8	–	–	0.08±0.06	19±14	–	–

Воды рек имеют низкое содержание лабильного (0.2–1.9 мгО₂/дм³), легкоокисляемого (1–4 мгО/дм³) и общего (3–31 мгО/дм³) органического вещества, низкое содержание общего (6–23 мкгP/дм³) и фосфатного (2–33 мкгP/дм³) фосфора, аммонийного (0.02–0.51 мгN/дм³), нитритного (1–32 мкгN/дм³), нитратного азота (0.03–1.0 мгN/дм³) и кремния (1.9–3.7 мг/дм³).

Таблица 4

Пигментные характеристики фитопланктона рек-притоков Телецкого озера
в летне-осенние периоды (min–max, $M \pm m$)

Table 4

Pigment characteristics of phytoplankton in the tributaries of Lake Teletskoye
in the summer-autumn periods (min–max, $M \pm m$)

Река	Хл <i>a</i> , мг/м ³	Доля Хл <i>a</i> , <i>b</i> и <i>c</i> в сумме хлорофиллов, %			Феопигменты, %	E_{480}/E_{665}
		Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	Хл <i>c</i>		
Чулышман	0.1–1.1	33–94	0–29	0–46	5–80	0.3–6.0
	0.5±0.1	62±4	14±2	24±3	50±6	1.7±0.3
Кыга	0.1–1.6	25–93	1–33	4–54	29–76	0.8–4.6
	0.4±0.1	55±4	17±2	28±3	48±4	1.9±0.2
Чири	0.6–1.4	49–94	0–27	4–28	29–77	0.7–1.8
	0.9±0.1	75±3	10±2	16±2	58±3	1.2±0.1
Баскон	0.5–1.9	68–94	0–10	6–23	51–88	0.9–1.5
	1.2±0.3	81±6	5±2	14±5	64±12	1.2±0.1
Челюш	0.4–2.0	49–90	0–22	8–32	43–84	0.9–2.1
	0.9±0.1	70±4	12±2	18±2	59±3	1.3±0.1
Б. Чили	0.9–2.8	70–97	0–13	3–17	42–74	0.9–1.7
	1.7±0.1	85±2	5±1	10±1	57±2	1.1±0.1
М. Чили	0.7–2.3	49–89	1–23	9–28	44–74	1.0–1.6
	1.7±0.2	74±4	11±2	15±2	57±3	1.2±0.1
Кокши	0.2–1.3	24–89	0–32	8–45	29–81	0.8–2.5
	0.7±0.1	64±4	16±2	21±2	54±3	1.4±0.1
Б. Корбу	0.4–1.4	52–91	1–33	3–29	21–86	0.6–1.8
	0.8±0.1	72±3	13±2	15±2	52±4	1.1±0.1
Турочак	0.7	82	3	15	14	1.1
Камга	0.3–0.9	38–79	11–24	21–42	5–76	1.0–2.5
	0.5±0.1	53±5	19±2	31±3	44±11	1.7±0.2
Окпорок	0.5–1.5	45–96	0–25	1–34	5–78	0.7–2.0
	0.9±0.1	68±5	15±2	18±3	50±5	1.5±0.1
Чеченек	0.5–2.7	57–87	7–19	4–25	29–76	1.0–1.6
	1.3±0.2	71±3	14±1	15±2	52±4	1.4±0.1
Ыдыш	0.1–0.2	41–69	11–32	0–48	52	1.5–1.8
	0.1±0.1	55±14	21±10	24±24	–	1.6±0.1
Колдор	0.5–2.3	51–80	1–21	11–32	38–58	1.0–1.7
	1.5±0.2	69±3	10±2	21±3	49±2	1.3±0.1
Б. Эстюбе	0.9	85	0	15	57	1.4
Самыш	0.5–7.5	48–90	0–25	8–33	29–79	0.8–2.0
	2.4±0.5	76±4	9±2	15±2	50±4	1.2±0.1
Ойер	0.9–3.8	41–87	3–26	10–33	27–74	0.9–2.4
	2.5±0.5	55±7	17±4	28±4	54±8	1.7±0.2
Тевенек	1.0–5.2	27–85	3–34	12–42	11–92	1.2–3.6
	2.2±0.5	50±7	18±4	32±4	58±13	2.0±0.3

Уровень развития водорослей планктона в исследованных реках крайне низкий: содержание Хл *a* в воде (0.1–2.5 мг/м³) и соответствует олиготрофным водным объектам. Относительные пигментные показатели свидетельствуют о неблагоприятных

условиях существования сообществ: пониженная доля Хл *a* в сумме хлорофиллов (50–85%) при значительном вкладе Хл *c* (10–32%), высокое содержание феопигментов (44–64%) и повышенные значения пигментного отношения (1.1–2.0).

Таблица 5

Пигментные характеристики фитоэпилитона рек-притоков Телецкого озера
в летне-осенние периоды ($M \pm m$)

Table 5

Pigment characteristics of the phytoepilyton of the tributaries of Lake Teletskoye
in the summer-autumn periods ($M \pm m$)

Река	Дата	Хл <i>a</i> , мг/м ²	Доля Хл <i>a</i> , <i>b</i> и <i>c</i> в сумме хлорофиллов, %			Феопигменты, %	E_{480}/E_{664}
			Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	Хл <i>c</i>		
Чулышман	13.09.2015	50±12	89±1	<1	11±1	47±6	1.4±0.1
	12.08.2021	15±6	79±2	13±0	8±2	33±4	1.0±0.1
Кыга	13.09.2015	8±1	92±1	1±1	7±1	19±0	1.3±0.0
	12.08.2021	10±1	82±3	13±2	5±2	21±3	0.9±0.0
Чири	13.09.2015	79±14	84±3	4±2	13±1	36±6	1.1±0.0
	12.08.2021	36±7	88±2	5±1	6±1	18±5	0.7±0.0
	26.08.2024	16±2	87±1	4±1	9±0.3	28±9	0.8±0.0
Баскон	13.09.2015	35±1	87±1	2±0	11±2	16±2	1.1±0.0
	11.08.2021	21±4	85±0	7±1	8±0	14±2	0.8±0.0
Челюш	13.09.2015	17±3	85±2	5±1	10±1	20±4	1.1±0.1
	11.08.2021	21±2	85±1	7±1	7±0	20±2	0.9±0.1
	27.08.2024	15±1	84±1	10±3	6±1	21±4	0.8±0.0
Б. Чили	13.09.2015	7±1	94±1	<1	6±1	17±5	1.4±0.1
	13.08.2021	81±32	87±1	4±0	8±1	18±1	0.9±0.1
	25.08.2024	17±1	88±1	5±0	8±1	25±4	0.8±0.0
М. Чили	13.08.2021	95±28	85±1	6±0	9±0	18±4	0.8±0.0
	27.08.2024	35±6	85±0	7±0	9±0	15±2	0.7±0.0
Кокши	14.09.2015	9±2	77±3	8±4	16±1	25±3	1.4±0.1
	27.08.2024	2±1	73±5	14±1	12±5	47±6	1.0±0.1
Корбу	14.09.2015	36±4	84±6	8±7	8±1	26±3	1.0±0.1
	11.08.2021	115±33	87±3	8±2	5±1	22±0	0.8±0.0
	27.08.2024	82±3	87±0	6±0	7±0	21±3	0.7±0.0
Турочак	23.07.2004	31	87	3	10	10	0.9
	10.08.2021	36±12	87±1	6±1	7±1	12±14	0.7±0.0
	27.08.2024	81±1	85±0	5±0	10±0	27±5	0.7±0.0
Камга	26.08.2005	10±0	83±2	9±2	8±0	14±1	0.7±0.1
	27.08.2024	15±1	85±1	7±1	9±1	24±3	0.7±0.0
Окпорок	10.08.2021	96 ±22	85±1	8±1	7±0	8±0	0.7±0.0
	27.08.2024	68±8	87±2	4±2	9±1	36±13	0.7±0.0
Чеченек	12.09.2015	79±12	85±1	6±2	9±0	28±4	1.1±0.1
	10.08.2021	152±44	86±1	8±1	7±1	1±2	0.7±0.0
Ыдып	28.08.2024	128±1	84±0	7±0	9±0	22±4	0.7±0.0
Колдор	15.09.2015	20±8	84±3	9±2	7±2	16±5	1.0±0.1
	11.08.2021	73±25	85±1	8±1	8±0	19±4	0.8±0.0
Б. Эстюбе	10.09.2015	89±24	86±2	2±2	12±1	28±4	1.1±0.0
	14.08.2021	105±34	85±1	6±1	9±1	18±3	0.8±0.0
Самыш	15.09.2015	27±2	88±1	5±2	7±2	16±2	1.0±0.0
	14.08.2021	48±15	86±0	6±1	8±1	32±2	0.8±0.0
	29.08.2024	40±3	86±0	6±0	8±0	23±9	0.7±0.0
Ойер	07.08.2021	112±34	90±1	5±1	5±1	0	0.6±0.0
Тевенек	25.08.2024	49±3	83±1	10±2	7±1	27±3	0.7±0.0

Обилие водорослей эпилитона фитоэпилитона (до гипертрофного уровня) отмечено в реках, испытывающих в устье антропогенное влияние (Чири, Б. Корбу, Окпорок, Чеченек, Б. Эстюбе, Ойер).

Обсуждение

Первое описание всех постоянных притоков озера приводит О.А. Алекин [1934]. В его работе дана характеристика гидрохимического режима рек с разделением их на разряды на основе величин летних расходов. На современном этапе изучение притоков проводится в составе комплексных исследований озера. В последние годы были изучены отдельные химические и биологические характеристики: физико-химические параметры и органические вещества [Зарубина и др., 2006]; биогенные вещества [Рождественская и др., 2008; Митрофанова, Третьякова, 2013]; микроэлементы [Кузнецова и др., 2012; Puzanov et al., 2015]; фитопланктон [Kirillova, Kim, 2000; Митрофанова, 2009], фитоэпифитон [Ким, 2015], зообентос [Koveshnikov, 2010]. Осуществлена попытка типизации малых рек бассейна Телецкого озера на основе данных по макрозообентосу с учетом ландшафтно-географических особенностей водосборов [Яныгина и др., 2009].

При изучении закономерностей геостика горных рек первостепенными являются ландшафтно-географические параметры. Актуальной является оценка взаимосвязей между показателями качества воды рек и ландшафтной структурой водосборных бассейнов [Vazquez et al., 2011; Liu et al., 2012]. Ландшафтный подход используют при описании горных водных экосистем, т.к. они особенно чувствительны к изменениям климата, атмосферным выпадениям и другим глобальным эффектам [Wong et al., 2016]. Современные исследования процессов эвтрофикации в горных реках включают основные параметры, определяющие развитие биоты: растворенный кислород, скорость потока, окислительно-восстановительный потенциал, электропроводность, температуру, pH, общий азот и фосфор [Hlavac et al., 2017].

Полученные нами средние многолетние значения общей минерализации воды притоков Телецкого озера за периоды летне-осенней межени в большинстве рек не превышают 100 мг/дм³. При этом вода в ос-

новном имеет нейтральную или слабощелочную реакцию (pH: 7.0–8.0) и очень низкую жесткость (0.2–1.0 ммоль/дм³). Также для этих рек характерно низкое содержание биогенных и органических веществ в воде.

В речных экосистемах автотрофное звено представлено, как правило, водорослями планктона и перифитона. В современных гидроэкологических исследованиях в качестве показателя уровня развития водорослей используют содержание Хл *a*, как основного фотосинтетического пигмента водорослей [Haggard et al., 2013; Hu et al., 2016; Chen et al. 2018]. Концентрация Хл *a*, рассчитанная на единицу объема воды или на единицу площади субстрата, считается универсальным эколого-физиологическим показателем, который позволяет получить сведения о пространственном распределении и динамике альгоценозов, санитарно-биологических характеристиках качества воды и трофическом статусе водоемов [Сиренко, 1975; Елизарова, 1993; Environment ... , 2004]. Значения соотношений хлорофиллов *a*, *b* и *c* используют в качестве инструмента предварительной идентификации основных групп водорослей [Bhaskar et al., 2016]. Для оценки функциональной активности и физиологического состояния сообщества водорослей исследуют содержание деградированных форм хлорофилла – феопигментов. Преобладание каротиноидов считается признаком физиологического неблагополучия водорослей [Foy, 1987]. Это отмечают при старении популяции, истощении минерального питания, при недостатке или избытке света. Для оценки соотношения желтых и зеленых пигментов используют показатель, выраженный как отношение оптических плотностей ацетонового экстракта в соответствующих максимумах поглощения (E_{480}/E_{664}) [Watson, Osborne, 1979]. Повышение этого отношения свидетельствует об ухудшении состояния сообщества и увеличении его пигментного разнообразия.

В горных реках развитие фитопланктона находится на низком уровне. Основными лимитирующими факторами для него являются: низкие температуры, высокие

скорости течения, интенсивная турбулентность потока, неустойчивость гидрологического режима [Чередарик, Королук, 2005]. Формирование фитопланктона здесь происходит за счет оторвавшихся от субстрата водорослей перифитона, поэтому его еще называют дрейфовым сообществом [Rolland et al., 1997]. В исследованных нами горных реках содержание Хл *a* в планктоне было низким. Средние многолетние значения для периода летне-осенней межени не превышали 2.5 мг/м³. Такой уровень развития фитопланктона соответствует олиготрофным водным объектам. Основная растительная группировка горных водотоков – это литофильные фитообрастания (фитоэпилитон).

Диапазоны значений содержания фотосинтетических пигментов фитоэпилитона, полученные нами, оказались близкими к таковым для водотоков Сихотэ-Алинского заповедника (Дальний Восток) [Белая, Христофорова, 2011]. Более низкие минимальные значения концентрации Хл *a* (менее 0.1 мг/м²) отмечаются в водотоках бассейнов рек Зея и Бурея [Сиротский, 2014]. Значения пигментного индекса эпилитона притоков Телецкого озера имели значения близкие или превышающие 1. Данный индекс, рассчитанный для эпилитона озерно-речных систем г. Санкт-Петербурга, был заметно ниже и редко превышал 1 [Станиславская, 2016], что свидетельствует о более благоприятном физиологическом состоянии водорослей, населяющих поверхность макрофитов, чем камней.

Водоросли эпилитона чувствительны к изменению температуры, условий освещенности, содержанию биогенных элементов. Мутность воды в горных реках определяет структуру и особенности функционирования фитоэпилитона [Mori, 2018]. Его развитие может быть лимитировано низкими концентрациями азота и фосфора [Reisinger et al., 2016]. Наблюдается положительный ответ биомассы на увеличение концентраций растворенных форм этих элементов, особенно при их значительных концентрациях [Lewis, McCutchan, 2010]. Повышенное количество фитоэпилитона

может указывать на плохое санитарное состояние водотока, т.к. биомасса и продукция водорослей и бактерий в обрастаниях положительно связаны [Carr et al., 2005].

Наиболее высокие концентрации Хл *a* в эпилитоне горных рек отмечаются при установлении меженных расходов, а также на участках, подверженных антропогенному воздействию. Минимальную биомассу водорослей отмечают при прохождении паводка [Nakanishi, Yamamura, 1984; Bott et al., 1985]. По содержанию Хл *a* в эпилитоне можно определять трофический статус и класс качества воды рек. Такая шкала была разработана для сообществ водорослей, населяющих гравийно-галечный субстрат водотоков горного и предгорного типа [Сиротский, Богатов, 1999]. Согласно этой шкале, большинство притоков Телецкого озера, где нами был исследован фитоэпилитон, имеют трофический статус от олиготрофного до мезотрофного и класс качества воды от «очень чистой» до «чистой» (9 из 16 рек). Наиболее высокий трофический статус (поли- и гипертрофный) и низкое качество воды («грязная» и «очень грязная») имеют реки Чири, Б. Корбу, Окпорок Чеченек, Б. Эстюбе и Ойер. Чрезмерное развитие фитоэпилитона этих рек возможно связано с влиянием человека. Три из этих рек испытывают в нижнем течении постоянную антропогенную нагрузку от поселений и выпаса скота: р. Чири (кордон заповедника); рр. Окпорок и Чеченек (с. Яйлю). Две реки подвержены рекреационной туристической деятельности: р. Б. Корбу с большим потоком туристов, проходящих на водопад; р. Б. Эстюбе с туристической базой, расположенной в непосредственной близости от берегов реки.

В целях дальнейшего сравнительного анализа рек, учитывающего все изученные характеристики, проведена их группировка по характерным диапазонам значений признаков. Для этого полученные нами ряды значений всех показателей были разбиты на группы методом неравных интервалов. Внутри диапазонов значений каждого показателя выделено от двух до четырех интервалов (групп), которые более-менее четко отличаются между собой (табл. 6).

Таблица 6

Результаты группировки различных показателей притоков Телецкого озера

Table 6

Results of grouping various indicators of Lake Teletskoye tributaries

Показатели	Группы			
	1	2	3	4
<i>Физико-географические и физические характеристики</i>				
Площадь водосбора, км ²	5.3–63.5	110–202	456–512	17200
Средняя высота водосбора, м	830–1200	1470–1780	2040	–
Длина реки, км	4–14	19–30	37–48	241
Уклон реки, ‰	8.6–58	88–150	200–228	–
Температура воды (летняя), °C	9.9–10.1	10.7–11.6	12.3–13.8	>15
Скорость течения, м/с	<0.5	0.5–1	>1	–
Мутность, NTU	0–0.2	0.4–0.6	0.8–1.2	1.6–3
<i>Химические характеристики</i>				
pH	7.0–7.1	7.3–7.4	7.7–8.1	>8.5
Кислород, мг/дм ³	8.6	9.8–10.1	10.4–11.3	>12
Жесткость, ммоль/дм ³	0.2–0.4	0.7–1.7	2.8	–
Минерализация, мг/дм ³	18–37	62–98	115–140	>150
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	0.2	0.6–1.2	>1.5	–
Перманганатная окисляемость, мгО/дм ³	0.9–4.3	7.2–9.5	–	–
ХПК, мгО/дм ³	3.1–6.3	9.4–12.0	16.0–31.2	–
Фосфор общий, мгР/дм ³	0.006–0.007	0.012–0.014	0.021–0.023	–
Фосфаты, мгР/дм ³	0.002–0.006	0.009–0.018	>0.20	–
Аммоний, мгN/дм ³	0.02–0.05	0.07–0.12	>0.15	–
Нитриты, мгN/дм ³	0.001–0.007	>0.010	–	–
Нитраты, мгN/дм ³	0.03–0.37	>0.90	–	–
Кремний, мг/дм ³	1.90	2.29–3.14	3.55–3.66	–
<i>Пигментные характеристики фитопланктона</i>				
Содержание Хл <i>a</i> , мг/м ³	0.1–0.9	1.2–1.7	>2.2	–
Доля Хл <i>a</i> в сумме Хл (<i>a+b+c</i>), %	50–55	62–76	82–85	–
Доля Хл <i>b</i> в сумме Хл (<i>a+b+c</i>), %	0–5	9–21	–	–
Доля Хл <i>c</i> в сумме Хл (<i>a+b+c</i>), %	10–16	18–24	28–32	–
Содержание феопигментов, %	44–64*			
Пигментное отношение (E_{480}/E_{664})	1.1–1.5	1.6–1.7	1.9–2.0	–
<i>Пигментные характеристики фитоперифитона</i>				
Содержание Хл <i>a</i> , мг/м ³	7–10	17–50	79–152	–
Доля Хл <i>a</i> в сумме Хл (<i>a+b+c</i>), %	77	83–89	92–95	–
Доля Хл <i>b</i> в сумме Хл (<i>a+b+c</i>), %	0–1	2–4	5–6	8–9
Доля Хл <i>c</i> в сумме Хл (<i>a+b+c</i>), %	6–9	10–13	16	–
Содержание феопигментов, %	7–20	26–28	37–47	–
Пигментное отношение (E_{480}/E_{664})	0.7–0.9	1.0–1.1	1.2–1.4	–

* – показатель не группируется

В результате для каждой реки получен цифровой ряд, состоящий из номеров групп (от 1 до 4), соответствующих каждому показателю. Сравнительный анализ полученных цифровых рядов позволил выделить типы рек с близкими значениями параметров. Оценка проведена отдельно для четырех групп параметров:

I. Ландшафтно-географические (площадь водосбора, средняя высота водосбора, длина реки, уклон реки, порядок реки) и физические параметры (температура, мутность). Выделено 8 типов рек:

1. Река 7 порядка с наибольшей площадью водосбора и длиной, с высокой мутностью воды (Чулышман);

2. Реки 4–5 порядка с большой площадью водосбора, длиной и низким уклоном (Кыга, Б. Чили, Кокши);

3. Реки 4 порядка со средней площадью водосбора и длиной, с низким уклоном, повышенной температурой и мутностью воды (М. Чили, Камга, Самыш);

4. Реки 2–3 порядка с низкой площадью, высотой водосбора и длиной, с повышенной температурой воды. (Турочак, Окпорок, Чеченек, Ойер, Тевенек);

5. Реки 2–3 порядка с низкой площадью водосбора и длиной при средней высоте водосбора и уклоне, с пониженной температурой и мутностью воды (Чири, Баскон, Челюш);

6. Реки 3 порядка с низкой площадью водосбора и длиной, с наибольшим уклоном русла (Б. Корбу, Б. Эстюбе);

7. Река 4 порядка со средней площадью водосбора и длиной, с низкой высотой водосбора, уклоном и температурой воды (Колдор);

8. Река 2 порядка с низкой площадью водосбора и длиной, средним уклоном и наименьшей температурой воды (Ыдып).

II. Химические показатели (рН, кислород, жесткость, минерализация, БПК₅, окисляемость, ХПК, минеральные формы азота и фосфора, фосфор общий, кремний). Выделено 4 типа рек:

1. Реки с низкой минерализацией воды и жесткостью, высоким содержанием

растворенного кислорода, низким содержанием органических веществ, средним и повышенным содержанием кремния (Чулышман, Кыга, Чири, Баскон, Челюш, Б. Чили, М. Чили, Кокши, Б. Корбу, Турочак, Камга, Окпорок);

2. Реки с повышенной минерализацией воды и рН, с повышенным содержанием общего органического вещества (Чеченек, Ойер, Тевенек);

3. Реки с повышенной минерализацией воды, низким содержанием органических и биогенных веществ (Колдор, Б. Эстюбе, Самыш);

4. Река с наибольшей минерализацией воды, наименьшим содержанием растворенного кислорода, низким содержанием органических и биогенных веществ (Ыдып).

III. Пигментные характеристики фитопланктона. Выявлено 6 типов рек:

1. Реки с наименьшим содержанием Хл *a* в воде, средним относительным содержанием дополнительных хлорофиллов (*b* и *c*) и низкими значениями пигментного отношения (E_{480}/E_{664}) (Чулышман, Чири, Челюш, Кокши, Б. Корбу, Окпорок, Ыдып);

2. Реки со средним содержанием Хл *a* в воде, средним относительным содержанием дополнительных хлорофиллов (*b* и *c*) и низкими значениями пигментного отношения (E_{480}/E_{664}) (М. Чили, Чеченек, Колдор);

3. Реки с наименьшим содержанием Хл *a* в воде, повышенным относительным содержанием хлорофилла *c* и повышенными значениями пигментного отношения (E_{480}/E_{664}) (Кыга, Камга);

4. Реки с низким содержанием Хл *a* в воде, повышенным относительным содержанием хлорофилла *a* и низкими значениями пигментного отношения (E_{480}/E_{664}) (Баскон, Б. Чили, Турочак, Б. Эстюбе);

5. Река с высоким содержанием Хл *a* в воде, средним относительным содержанием дополнительных хлорофиллов (*b* и *c*) и низкими значениями пигментного отношения (E_{480}/E_{664}) (Самыш);

6. Реки с высоким содержанием Хл *a* в воде, повышенным относительным содер-

жанием хлорофилла *c* и повышенными значениями пигментного отношения (E_{480}/E_{664}) (Ойер, Тевенек).

IV. Пигментные характеристики фитоэпилитона. Выявлено 6 типов рек:

1. Реки с невысоким содержанием Хл *a* в эпилитоне, высоким относительным содержанием хлорофилла *a*, низким содержанием феопигментов и высокими значениями пигментного отношения (E_{480}/E_{664}) (Кыга, Б. Чили);

2. Река с наименьшим содержанием Хл *a* в эпилитоне, высоким относительным содержанием хлорофиллов *b* и *c* и высокими значениями пигментного отношения (E_{480}/E_{664}) (Чулышман, Кокши);

3. Река с наименьшим содержанием Хл *a* в эпилитоне, высоким относительным содержанием хлорофилла *b*, низким содержанием феопигментов и низкими значениями пигментного отношения (E_{480}/E_{664}) (Камга, Тевенек);

4. Река со средним содержанием Хл *a* в фитобентосе, низким относительным содержанием дополнительных хлорофиллов (*b* и *c*), высоким содержанием феопигментов и высокими значениями пигментного отношения (E_{480}/E_{664}) (Чулышман);

5. Реки со средним содержанием Хл *a* в эпилитоне, средним и повышенным относительным содержанием хлорофилла *b* и низким содержанием феопигментов (М. Чили, Баскон, Челюш, Б. Корбу, Турочак, Колдор, Самыш);

6. Реки с наибольшим содержанием Хл *a* в эпилитоне, средним относительным содержанием хлорофиллов *b* и *c* и средними значениями пигментного отношения (E_{480}/E_{664}) (Чири, Окпорок, Чеченек, Ыдып, Б. Эстюбе, Ойер).

Таким образом, выявлено значительное разнообразие типов притоков Телецкого озера по отдельным группам параметров (рис. 2). Вместе с тем, возникает необходимость систематизации рек с использованием всего комплекса изученных параметров. В результате предложена типизация рек по особенностям формирования компонентов геостока.

Сравнительный анализ результатов типизации по отдельным группам параметров позволил выделить объединенные типы рек, сходные по большинству параметров. Приоритетными при этом являются ландшафтно-географические, физические и химические параметры, как наиболее консервативные.

В результате выделены следующие сводные типы рек: 1 тип (Кыга, Б. Чили, Кокши); 2 тип (М. Чили, Камга); 3 тип (Чири, Баскон, Челюш); 4 тип (Чеченек, Ойер, Тевенек); 5 тип (Турочак, Окпорок). Остальные реки не объединяются в сводные типы, т.е. каждая река имеет свой тип: Чулышман, Б. Корбу, Ыдып, Колдор, Б. Эстюбе, Самыш. Таким образом, все 19 исследованных рек объединяются в 11 сводных типов, 5 из которых включают по 2–3 реки и 6 – по одной. Выделенные сводные типы хорошо соотносятся с типами ландшафтов водосборов рек: гольцово-альпинотипные высокогорья, горно-таежное темнохвойное среднегорье и таежно-черневое низкогорье.

Заключение

По материалам многолетних исследований дана комплексная сравнительная биогеоценотическая характеристика 19 горных рек – притоков олиготрофного Телецкого озера. Исследованные реки весьма разнообразны по площади и высоте водосбора, длине, уклону и порядкам. Воды рек в целом характеризуются пониженной температурой и мутностью, имеют нейтральную или слабощелочную активную реакцию среды, высокое содержание растворенного кислорода, низкую минерализацию и содержание органических и биогенных веществ. Уровень развития водорослей потамопланктона в реках крайне низкий: содержание Хл *a* в воде соответствует олиготрофным водам. Относительные пигментные показатели свидетельствуют о неблагоприятных условиях существования фитопланктона. Обилие водорослей эпилитона (по содержанию Хл *a*) в большинстве исследованных рек не высокое и соответствует олиготрофным и

мезотрофным условиям. Повышенное развитие фитоэпилитона отмечено в реках, испытывающих в устье антропогенное влияние (Чири, Б. Корбу, Окпорок, Чеченек, Б. Эстюбе, Ойер).

Проведена комплексная типизация изученных рек по четырем группам параметров: ландшафтно-географическим характеристикам водосбора и русла физическим показателям воды; химическому составу воды; пигментным характеристикам фитопланктона и фитоэпилитона. Выявлены пять сводных типов рек, объединяющих большую часть исследованных притоков. Первый тип – это длинные реки 4–5 порядка с большой площадью водосбора, низким уклоном русла, с низкой минерализацией, низким содержанием органических веществ, повышенным содержанием растворенного кислорода и кремния, с минимальным обилием фитопланктона и низким уровнем развития фитоэпилитона (Кыга, Б. Чили, Кокши). Второй тип рек отличается от первого меньшей длиной и площадью водосбора,

большей температурой и мутностью, а также умеренным развитием фитоэпилитона с повышенной долей хлорофилла *b* (М. Чили, Камга). Третий тип – это реки 2–3 порядка с еще более меньшей площадью водосбора и длиной, с пониженной температурой и мутностью, с благополучным физиологическим состоянием и высоким обилием фитоэпилитона (Чири, Баскон, Челюш). Четвертый тип – это реки с небольшой высотой водосбора, повышенной температурой, минерализацией и рН, с повышенным содержанием органического вещества, Хл *a* в воде и с благополучным физиологическим состоянием и наиболее высоким обилием фитоэпилитона (Чеченек, Ойер, Тевенек). Пятый тип – в отличие от предыдущего имеет низкую минерализацию, низкое содержание органических веществ и высокое обилие фитоэпилитона (Турочак, Окпорок). Выявлено, что отличия сводных типов рек по уровню развития альгоценозов, в наибольшей мере связаны с ландшафтными характеристиками водосборов.

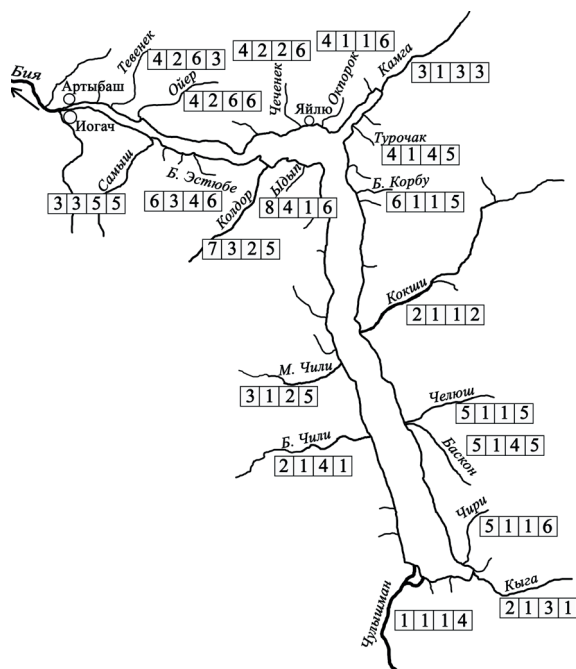


Рис. 2. Типы притоков Телецкого озера по группам параметров: первая цифра – по ландшафтно-географическим характеристикам русла и водосбора и физическим параметрам воды; вторая цифра – по химическим показателям воды; третья цифра – по пигментным характеристикам фитопланктона; четвертая цифра – по пигментным характеристикам фитоэпилитона и фитобентоса

Fig. 2. Types of tributaries of Lake Teletskoye by groups of parameters: the first number – by landscape and geographical characteristics of the channel and catchment area and physical parameters of water; the second number – by chemical parameters of water; the third number – by pigment characteristics of phytoplankton; the fourth number – by pigment characteristics of phytoepilite and phytobenthos

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflict of interests.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН.

Список литературы

- Алекин О.А. К исследованию притоков Телецкого озера. Работы Телецкой Экспедиции // Исследования озер СССР. Л.: Изд. ГГИ, 1934. Вып. 7. С. 101–120.
- Антонова Р.В., Севастьянов Д.В. К вопросу о влиянии морфометрических характеристик озер и их водосборов на трофический статус водоемов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2004. № 1. С. 83–87.
- Белая С.А., Христофорова Н.К. Фотосинтетические пигменты водорослей перифитона в водотоках Сихотэ-Алинского биосферного заповедника // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. 2011. № 5. С. 53–60.
- Буслов М.М., Высоцкий Е.М., Де Батист М., Дельво Д., Дехандсхюттер Д., Дучков А.Д., Казанцев С.А., Калугин И.А., Клеркс Ян., Селегей В.В., Селезнев В.С., Смирнова Л.В., Соловьев В.М., Тениссен К. Физико-географическая и геологическая характеристика Телецкого озера. Тервюрен, Бельгия: Королевский Музей Центральной Африки, 2001. 310 с.
- ГОСТ 17.1.4.02-90. Государственный контроль качества воды. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а. М.: Изд-во стандартов, 2003. С. 587–600.
- Драбкова В.Г., Сорокин И.Н. Озеро и его водосбор – единая природная система. Л.: Наука, 1979. 196 с.
- Елизарова В.А. Хлорофилл как показатель биомассы фитопланктона // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. С. 126–131.
- Зарубина Е.Ю., Долматова Л.А., Соколова М.И. Элементы гидрохимического режима приустьевых участков притоков Телецкого озера // Ползуновский вестник. 2006. № 2-1. С. 279–285.
- Ким Г.В. Фитоэпилитон водотоков и водоемов горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби. Автореферат дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, НГАУ. 2015. 18 с.
- Кузнецова О.В., Ельчиной О.А., Пузанов А.В. Свинец в компонентах ландшафтов бассейна Телецкого озера // Мир науки, культуры, образования. 2012. № 1 (32). С. 299–302.
- Митрофанова Е.Ю., Третьякова Е.И. Тератологические формы диатомовых водорослей в альгофлоре Телецкого озера (Русский Алтай) // Вода: химия и экология. 2013. № 10 (64). С. 112–119.
- Митрофанова Е.Ю. Водоросли планктона горных водотоков (на примере водотоков бассейна Телецкого озера, Россия) // Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге: Мат. II всеросс. конф. (5–9 октября 2009 г., Россия). Сыктывкар: Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН, 2009. С. 104–107.
- Прокушкин А.С., Покровский О.С., Широкова Л.С., Корец М.А., Виерс Д., МакДауэлл В.Х. Экспорт растворенного углерода с водосборных бассейнов Среднесибирского плоскогорья // Доклады Академии наук. 2011. Т. 441, № 2. С. 254–257.
- Рождественская Т.А., Пузанов А.В., Горбачев И.В. Нитраты и нитриты в поверхностных и подземных водах Алтая // Мир науки, культуры, образования. 2008. № 2 (9). С. 19–22.
- Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Ред. В.А. Абакумов. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 320 с.

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Ч. 1. / Ред. Л.В. Боева. Ростов-на-Дону: НОК, 2009. 1046 с.

Селегей В.В., Селегей Т.С. Телецкое озеро. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 167с.

Сиренко Л.А. Определение содержания растительных пигментов в среде, как показатель интенсивности развития водорослей // Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике. Киев: Наук. думка, 1975. С. 48–50.

Сиротский С.Е. Фотосинтетические пигменты в перифитоне водотоков бассейнов рек Зея и Бурея // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. 2014. № 6. С. 619–628.

Сиротский С.Е., Богатов В.В. Методические рекомендации по оценке ущерба рыбному хозяйству на основе данных о первичной продукции в водотоках и водоемах // Геохимические и биогеохимические процессы в экосистемах Дальнего востока. Владивосток: Дальнаука, 1999. С. 129–152.

Станиславская Е.В. Пигментные характеристики перифитона озерно-речных систем урбанизированных территорий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18, № 2–2. С. 502–506.

Чередарик М.И., Королюк В.И. Некоторые структурно-функциональные особенности экосистем основных горных рек бассейна Дуная // Гидробиол. журн. 2005. Т. 41, № 3. С. 3–8.

Яныгина Л.В., Черных Д.В., Ковешников М.И., Лукьянов Д.П., Митрофанова Е.Ю., Котовщиков А.В., Крылова Е.Н. Типизация малых рек бассейна Телецкого озера по биоценотическим признакам с учетом ландшафтно-географических особенностей водосборов // X Съезд Гидробиологического общества при РАН: Тез. докл. (28 сентября – 2 октября 2009 г., Россия). Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 462–463.

Bhaskar J.T., Tripathy S.C., Sabu P., Laluraj C.M., Rajan S. Variation of phytoplankton assemblages of Kongsfjorden in early autumn 2012: a microscopic and pigment ratio-based assessment // Environmental monitoring and assessment. 2016. Vol. 188, Is. 4. Number: UNSP 224. doi: 10.1007/s10661-016-5220-8

Bott T.L., Brock J.T., Dunn C. S., Naiman Robert J., Ovink Roger W. Benthic community metabolism in four temperate streams systems. An interbiome comparison and evaluation of the river continuum concept // Hydrobiologia. 1985. Vol. 123, no. 1. P. 1–45. doi: 10.1007/BF00006613

Carr G.M., Morin A., Chambers P.A. Bacteria and algae in stream periphyton along a nutrient gradient // Freshwater biology. 2005. Vol. 50, Is. 8. P. 1337–1350. doi: 10.1111/j.1365-2427.2005.01401.x

Chen F.F., Su G.P., Mou H.Y., Liang X., Chen Y., Ao T.Q., Chen W.Q., Li Y.Z. Quantifying the ecological stability of artificial aquatic ecosystems: a case study of an artificial lake in Chengdu, China // Aquatic sciences. 2018. Vol. 81, Is. 1. Number: UNSP 3. doi: 10.1007/s00027-018-0600-5

Environment Canada: national guidelines and standards office. Water policy and coordination directorate. Canadian guidance framework for the management of phosphorus in freshwater system. Ottawa: National Guidelines and Standards Office Water Policy and Coordination Directorate Environment Canada, 2004. Report № 1–8. 133 p.

Foy R.H. A comparison of chlorophyll a and carotenoid concentrations as indicators of algal volume // Freshwater Biol. 1987. Vol. 17, no. 2. P.237–250.

Haggard B.E., Scott J.T., Longing S.D. Sestonic Chlorophyll-a Shows Hierarchical Structure and Thresholds with Nutrients across the Red River Basin, USA // Journal of environmental quality. 2013. Vol. 42, Is. 2. P. 437–445. doi: 10.2134/jeq2012.0181

Hlavac A., Melcakova I., Novakova J., Svehlakova H., Slavikova L., Klimsa L., Bartkova M. Evaluation of eutrophication of Ostravice river depending on the chemical and physical

parameters // 1st International conference on advances in environmental engineering (aee 2017). Edd.: Estokova A., Stevulova N., Vaclavik V. IOP Conference Series-Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 92. Number: UNSP 012016. doi: 10.1088/1755-1315/92/1/012016

Hu R., Li Q.H., Han B.P., Naselli-Flores L., Padisak J., Salmaso N. Tracking management-related water quality alterations by phytoplankton assemblages in a tropical reservoir // *Hydrobiologia*. 2016. Vol. 763, Is. 1. P. 109–124. doi: 10.1007/s10750-015-2366-2

Kirillova T.V., Kim G.V. Composition and pigment characteristics of phytoplankton in the Lake Teletskoye tributaries // *Biodiversity and dynamics of ecosystems in North Eurasia*. Vol. 5. (August 21–26, 2000). Novosibirsk: IC&G, 2000. C. 36–38.

Kirillova T.V., Kirillov V.V., Gaevskii N.A. Dynamics of phytoplankton pigment characteristics in the Biya head water // *Contemporary Problems of Ecology*. 2009. Vol. 2, no. 6. P. 560–569. doi: 10.1134/S1995425509060125

Koveshnikov M.I. Spatial distribution of zoobenthos in the watercourses of the Biya River basin (Altai) // *Inland Water Biology*. 2010. Vol. 3, no. 3. P. 266–274. doi: 10.1134/S1995082910030107

Lewis W.M., McCutchan J.H. Ecological responses to nutrients in streams and rivers of the Colorado mountains and foothills // *Freshwater biology*. 2010. Vol. 55, Is. 9. P. 1973–1983. doi: 10.1111/j.1365-2427.2010.02431.x

Liu W.Z., Zhang Q.F., Liu G.H. Influences of watershed landscape composition and configuration on lake-water quality in the Yangtze River basin of China // *Hydrological processes*. 2012. Vol. 26, Is. 4. P. 570–578. doi: 10.1002/hyp.8157

Mitrofanova E.Y. Phytoplankton of Lake Teletskoye (Altai, Russia): Features of Development and Long-Term Dynamics // *Russian Journal of Ecology*. 2018. T. 49, no. 2. P. 180–185.

Mori T., Miyagawa Y., Onoda Y., Kayaba Y. Flow-velocity-dependent effects of turbid water on periphyton structure and function in flowing water // *Aquatic sciences*. 2018. Vol. 80 (1). doi: 10.1007/s00027-017-0552-1

Nakanishi M., Yamamura N., Seasonal changes in the primary production and chlorophyll an amount of sessile algal community in a small mountain stream Chigonosava // *Mem. Fac. Sci. Kyoto Univ. Series of Biology*. 1984. Vol. 9. P. 41–55.

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. C. 340–351. doi: 10.1134/S009780781503015X

Reisinger A.J., Tank J.L., Dee M.M. Regional and seasonal variation in nutrient limitation of river biofilms // *Freshwater science*. 2016. Vol. 35, Is. 2. P. 474–489. doi: 10.1086/685829

Rolland T., Fayolle S., Cazaubon A., Pagnetti S. Methodical approach to distribution of epilithic and drifting algae communities in a French subalpine river: Inferences on water quality assessment // *Aquat.sci*. 1997. Vol. 59. P. 57–73. doi: 10.1007/BF02522551

Vazquez G., Ake-Castillo J.A., Favila M.E. Algal assemblages and their relationship with water quality in tropical Mexican streams with different land uses // *Hydrobiologia*. 2011. Vol. 667, Is. 1. P. 173–189. doi: 10.1007/s10750-011-0633-4

Watson R.A., Osborne P.L. An algal pigment ratio as an indicator of the nitrogen supply to phytoplankton in three Norfolk broads // *Freshwater Biol*. 1979. Vol. 9, no. 6. P. 585–594.

Wong S.W., Matthews R.A., Bruun K. Phytoplankton Variation in Four Shallow High-elevation Lakes in the Upper North Fork Nooksack River Watershed of the North Cascades, Washington (USA) // *Northwest Science*. 2016. Vol. 90, Is. 2. P. 119–135. doi: 10.3955/046.090.0205

References

Alekin O.A. K issledovaniyu pritokov Teletskogo ozera. Raboty Teletskoi Ekspeditsii [On the Study of Lake Teletskoye Tributaries. Works of the Teletskoye Expedition] // Issledovaniya ozer SSSR [Studies of USSR Lakes]. L.: Izd. GGI, 1934. Vol. 7. P. 101–120. (in Russian).

Antonova R.V., Sevast'yanov D.V. K voprosu o vliyani morfometricheskikh kharakteristik ozer i ikh vodosborov na troficheskii status vodoemov [On the Influence of Morphometric Characteristics of Lakes and Their Catchments on the Trophic Status of Reservoirs] // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta [Bulletin of St. Petersburg University]. Series 7. Geology. Geography. 2004. No. 1. P. 83–87. (in Russian).

Belaya S.A., Khristoforova N.K. Fotosinteticheskie pigmenty vodoroslei perifitona v vodotokakh Sikhote-Alinskogo biosfernogo zapovednika [Photosynthetic Pigments of Periphyton Algae in the Watercourses of the Sikhote-Alin Biosphere Reserve] // Chteniya pamyati Vladimira Yakovlevicha Levanidova [Readings in Memory of Vladimir Yakovlevich Levanidov]. 2011. No. 5. P. 53–60. (in Russian).

Buslov M.M., Vysotsky E.M., De Batiste M., Delvaux D., Dehandshutter D., Duchkov A.D., Kazantsev S.A., Kalugin I.A., Klerks Jan., Selegey V.V., Seleznev V.S., Smirnova L.V., Soloviev V.M., Theunissen K. Fiziko-geograficheskaya i geologicheskaya harakteristika Teleckogo ozera [Physical-geographical and geological characteristics of Lake Teletskoye]. Tervuren, Belgium: Royal Museum for Central Africa, 2001. 310 p. (in Russian).

GOST 17.1.4.02-90. Gosudarstvennyi kontrol' kachestva vody. Metodika spektrofotometricheskogo opredeleniya khlorofilla a [State control of water quality. Methodology for spectrophotometric determination of chlorophyll a]. M.: Izd-vo standartov, 2003. P. 587–600.

Drabkova V.G., Sorokin I.N. Ozero i ego vodosbor – edinaya prirodnyaya Sistema [The Lake and Its Catchment Area – a Single Natural System]. L.: Nauka, 1979. 196 p. (in Russian).

Elizarova V.A. Khlorofill kak pokazatel' biomassy fitoplanktona [Chlorophyll as an Indicator of Phytoplankton Biomass] // Metodicheskie voprosy izucheniya pervichnoi produktsii planktona vnutrennikh vodoemov [Methodological Issues of Studying Primary Production of Plankton in Inland Waters]. SPb.: Gidrometeoizdat, 1993. P. 126–131. (in Russian).

Zarubina E.Yu., Dolmatova L.A., Sokolova M.I. Elementy gidrokhimicheskogo rezhima priust'evykh uchastkov pritokov Teletskogo ozera [Elements of the Hydrochemical Regime of the Mouth Areas of the Tributaries of Lake Teletskoye] // Polzunovskii vestnik. 2006. № 2-1. P. 279–285. (in Russian).

Kim G.V. Fitoepiliton vodotokov i vodoemov gornoj i predgornoj chastej bassejna Verhnej Obi [Phytoepiliton of watercourses and reservoirs of the mountain and foothill parts of the Upper Ob basin]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Novosibirsk, NSAU. 2015. 18 p. (in Russian).

Kuznetsova O.V., El'chinina O.A., Puzanov A.V. Svinets v komponentakh landshaftov basseina Teletskogo ozera [Lead in the components of landscapes in the Lake Teletskoye basin] // Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya [The world of science, culture and education]. 2012. No. 1 (32). P. 299–302. (in Russian).

Mitrofanov E.Yu., Tretyakova E. I. Teratologicheskie formy diatomovykh vodoroslej v al'goflore Teleckogo ozera (Russkij Altaj) [Teratological forms of diatoms in the algal flora of Lake Teletskoye (Russian Altai)] // Voda: himiya i ekologiya [Water: Chemistry and Ecology]. 2013. No. 10 (64). P. 112–119. (in Russian).

Mitrofanov E.Yu. Vodorosli planktona gornyh vodotokov (na primere vodotokov bassejna Teleckogo ozera, Rossiya) [Planktonic algae of mountain streams (using the watercourses of the Lake Teletskoye basin, Russia as an example)] // Vodorosli: problemy taksonomii, ekologii

i ispol'zovanie v monitoring [Algae: problems of taxonomy, ecology, and use in monitoring]: Proc. II All-Russian Conf. (October 5–9, 2009). Syktyvkar: Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2009. P. 104–107. (in Russian).

Prokushkin A.S., Pokrovskii O.S., Shirokova L.S., Korets M.A., Viers D., MakDauell V.H. Eksport rastvorennogo ugleroda s vodosbornykh basseinov Srednesibirskogo ploskogor'ya [Export of dissolved carbon from the catchment basins of the Central Siberian Plateau] // Doklady Akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]. 2011. Vol. 441, no. 2. P. 254–257. (in Russian).

Rozhdestvenskaya T.A., Puzanov A.V., Gorbachev I.V. Nitraty i nitrity v poverkhnostnykh i podzemnykh vodakh Altaya [Nitrates and nitrites in surface and groundwater of Altai] // Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya [The world of science, culture and education]. 2008. No. 2 (9). P. 19–22. (in Russian).

Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem [Guide to hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems] / Ed. V.A. Abakumov. SPb.: Gidrometeoizdat, 1992. 320 p. (in Russian).

Rukovodstvo po khimicheskemu analizu poverkhnostnykh vod sushi [Guide to Chemical Analysis of Land Surface Waters]. Part 1 / Ed. L.V. Boeva. Rostov-on-Don: NOK, 2009. 1046 p. (in Russian).

Selegei V.V., Selegei T.S. Teletskoe ozero [Lake Teletskoye]. L.: Gidrometeoizdat, 1978. 167 p. (in Russian).

Sirenko L.A. Opredelenie sodержaniya rastitel'nykh pigmentov v srede, kak pokazatel' intensivnosti razvitiya vodoroslei [Determination of the Content of Plant Pigments in the Environment as an Indicator of Algae Development Intensity] // Metody fiziologo-biokhimicheskogo issledovaniya vodoroslei v gidrobiologicheskoi praktike [Methods of Physiological and Biochemical Study of Algae in Hydrobiological Practice]. Kyiv: Nauk. Dumka, 1975. P. 48–50. (in Russian).

Sirotskii S.E. Fotosinteticheskie pigmenty v perifitone vodotokov basseinov rek Zeya i Bureya [Photosynthetic pigments in the periphyton of watercourses of the Zeya and Bureya river basins] // Chteniya pamyati Vladimira Yakovlevicha Levanidova [Readings in memory of Vladimir Yakovlevich Levanidov]. 2014. № 6. P. 619–628. (in Russian).

Sirotskii S.E., Bogatov V.V. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke ushcherba rybnomu khozyaistvu na osnove dannykh o pervichnoi produktsii v vodotokakh i vodoemakh [Methodological recommendations for assessing damage to fisheries based on data on primary production in watercourses and reservoirs] // Geokhimicheskie i biogeokhimicheskie protsessy v ekosistemakh Dal'nego vostoka [Geochemical and biogeochemical processes in ecosystems of the Far East]. Vladivostok: Dalnauka, 1999. P. 129–152. (in Russian).

Stanislavskaya E.V. Pigmentnye kharakteristiki perifitona ozerno-rechnykh sistem urbanizirovannykh territorii [Pigment characteristics of periphyton of lake-river systems of urbanized territories] // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2016. Vol. 18, no. 2–2. P. 502–506. (in Russian).

Cheredarik M.I., Korolyuk V.I. Nekotorye strukturno-funktsional'nye osobennosti ekosistem osnovnykh gornykh rek basseina Dunaya [Some structural and functional features of ecosystems of the main mountain rivers of the Danube basin] // Gidrobiol. zhurn. [Hydrobiol. Journal]. 2005. Vol. 41, no. 3. P. 3–8. (in Russian).

Yanygina L.V., Chernykh D.V., Koveshnikov M.I., Luk'yanov D.P., Mitrofanova E.Yu., Kotovshchikov A.V., Krylova E.N. Tipizatsiya malykh rek basseina Teletskogo ozera po biotsenoticheskim priznakam s uchetom landshaftno-geograficheskikh osobennostei vodosborov [Typification of small rivers of the Lake Teletskoye basin by biocenotic features

taking into account the landscape and geographical features of the catchments] // X S'ezd Gidrobiologicheskogo obshchestva pri RAN [X Congress of the Hydrobiological Society of the Russian Academy of Sciences]: Report summary (Sept. 28 – Oct. 2, 2009). Vladivostok: Dalnauka, 2009. P. 462–463. (in Russian).

Bhaskar J.T., Tripathy S.C., Sabu P., Laluraj C.M., Rajan S. Variation of phytoplankton assemblages of Kongsfjorden in early autumn 2012: a microscopic and pigment ratio-based assessment // *Environmental monitoring and assessment*. 2016. Vol. 188, Is. 4. Number: UNSP 224. doi: 10.1007/s10661-016-5220-8

Bott T.L., Brock J.T., Dunn C. S., Naiman Robert J., Ovink Roger W. Benthic community metabolism in four temperate streams systems. An interbiome comparison and evaluation of the river continuum concept // *Hydrobiologia*. 1985. Vol. 123, no. 1. P. 1–45. doi: 10.1007/BF00006613

Carr G.M., Morin A., Chambers P.A. Bacteria and algae in stream periphyton along a nutrient gradient // *Freshwater biology*. 2005. Vol. 50, Is. 8. P. 1337–1350. doi: 10.1111/j.1365-2427.2005.01401.x

Chen F.F., Su G.P., Mou H.Y., Liang X., Chen Y., Ao T.Q., Chen W.Q., Li Y.Z. Quantifying the ecological stability of artificial aquatic ecosystems: a case study of an artificial lake in Chengdu, China // *Aquatic sciences*. 2018. Vol. 81, Is. 1. Number: UNSP 3. doi: 10.1007/s00027-018-0600-5

Environment Canada: national guidelines and standards office. Water policy and coordination directorate. Canadian guidance framework for the management of phosphorus in freshwater system. Ottawa: National Guidelines and Standards Office Water Policy and Coordination Directorate Environment Canada, 2004. Report № 1–8. 133 p.

Foy R.H. A comparison of chlorophyll a and carotenoid concentrations as indicators of algal volume // *Freshwater Biol.* 1987. Vol. 17, no. 2. P.237–250.

Haggard B.E., Scott J.T., Longing S.D. Sestonic Chlorophyll-a Shows Hierarchical Structure and Thresholds with Nutrients across the Red River Basin, USA // *Journal of environmental quality*. 2013. Vol. 42, Is. 2. P. 437–445. doi: 10.2134/jeq2012.0181

Hlavac A., Melcakova I., Novakova J., Svehlakova H., Slavikova L., Klimsa L., Bartkova M. Evaluation of eutrophication of Ostravice river depending on the chemical and physical parameters // 1st International conference on advances in environmental engineering (aee 2017). Edd.: Estokova A., Stevulova N., Vaclavik V. IOP Conference Series-Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 92. Number: UNSP 012016. doi: 10.1088/1755-1315/92/1/012016

Hu R., Li Q.H., Han B.P., Naselli-Flores L., Padisak J., Salmaso N. Tracking management-related water quality alterations by phytoplankton assemblages in a tropical reservoir // *Hydrobiologia*. 2016. Vol. 763, Is. 1. P. 109–124. doi: 10.1007/s10750-015-2366-2

Kirillova T.V., Kim G.V. Composition and pigment characteristics of phytoplankton in the Lake Teletskoye tributaries // *Biodiversity and dynamics of ecosystems in North Eurasia*. Vol. 5. (August 21–26, 2000). Novosibirsk: IC&G, 2000. C. 36–38.

Kirillova T.V., Kirillov V.V., Gaevskii N.A. Dynamics of phytoplankton pigment characteristics in the Biya head water // *Contemporary Problems of Ecology*. 2009. Vol. 2, no. 6. P. 560–569. doi: 10.1134/S1995425509060125

Koveshnikov M.I. Spatial distribution of zoobenthos in the watercourses of the Biya River basin (Altai) // *Inland Water Biology*. 2010. Vol. 3, no. 3. P. 266–274. doi: 10.1134/S1995082910030107

Lewis W.M., McCutchan J.H. Ecological responses to nutrients in streams and rivers of the Colorado mountains and foothills // *Freshwater biology*. 2010. Vol. 55, Is. 9. P. 1973–1983. doi: 10.1111/j.1365-2427.2010.02431.x

Liu W.Z., Zhang Q.F., Liu G.H. Influences of watershed landscape composition and

configuration on lake-water quality in the Yangtze River basin of China // Hydrological processes. 2012. Vol. 26, Is. 4. P. 570–578. doi: 10.1002/hyp.8157

Mitrofanova E.Y. Phytoplankton of Lake Teletskoye (Altai, Russia): Features of Development and Long-Term Dynamics // Russian Journal of Ecology. 2018. T. 49, no. 2. P. 180–185.

Mori T., Miyagawa Y., Onoda Y., Kayaba Y. Flow-velocity-dependent effects of turbid water on periphyton structure and function in flowing water // Aquatic sciences. 2018. Vol. 80 (1). doi: 10.1007/s00027-017-0552-1

Nakanishi M., Yamamura N., Seasonal changes in the primary production and chlorophyll an amount of sessile algal community in a small mountain stream Chigonosava // Mem. Fac. Sci. Kyoto Univ. Series of Biology. 1984. Vol. 9. P. 41–55.

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. C. 340–351. doi: 10.1134/S009780781503015X

Reisinger A.J., Tank J.L., Dee M.M. Regional and seasonal variation in nutrient limitation of river biofilms // Freshwater science. 2016. Vol. 35, Is. 2. P. 474–489. doi: 10.1086/685829

Rolland T., Fayolle S., Cazaubon A., Pagnetti S. Methodical approach to distribution of epilithic and drifting algae communities in a French subalpine river: Inferences on water quality assessment // Aquat.sci. 1997. Vol. 59. P. 57–73. doi: 10.1007/BF02522551

Vazquez G., Ake-Castillo J.A., Favila M.E. Algal assemblages and their relationship with water quality in tropical Mexican streams with different land uses // Hydrobiologia. 2011. Vol. 667, Is. 1. P. 173–189. doi: 10.1007/s10750-011-0633-4

Watson R.A., Osborne P.L. An algal pigment ratio as an indicator of the nitrogen supply to phytoplankton in three Norfolk broads // Freshwater Biol. 1979. Vol. 9, no. 6. P. 585–594.

Wong S.W., Matthews R.A., Bruun K. Phytoplankton Variation in Four Shallow High-elevation Lakes in the Upper North Fork Nooksack River Watershed of the North Cascades, Washington (USA) // Northwest Science. 2016. Vol. 90, Is. 2. P. 119–135. doi: 10.3955/046.090.0205

TYPING OF MOUNTAIN RIVERS OF THE LAKE TELETSKOE BASIN BASED ON ABIOTIC CONDITIONS AND THE STATE OF ALGOCENOSIS

A.V. Kotovshchikov, A.V. D'yachenko, V.L. Paradoskii

Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, Barnaul

E-mail: kotovschik@iwep.ru

Based on the materials of long-term field expeditionary studies of the tributaries of the oligotrophic Lake Teletskoye (19 rivers), their modern comprehensive comparative biogeocenotic characteristics are given. The main landscape and geographical characteristics of the catchment areas and channels (area and average height of the catchment area, length, slope and river order), physical and chemical parameters of water (flow velocity, temperature, turbidity, pH, oxygen, hardness, mineralization, BOD₅, oxidizability, COD, mineral forms of nitrogen and phosphorus, total phosphorus, silicon), the level of development and state of algocenoses of plankton and epilithon according to pigment characteristics (chlorophyll a content, the proportion of chlorophylls a, b, c in their sum, the relative content of pheopigments, the pigment ratio – E480/E664) are analyzed. Based on the comparative analysis, a typification of the tributaries of Lake Teletskoye was performed separately for four groups of parameters, as well as for the entire complex of indicators. Landscape and geographic parameters exhibit

the greatest diversity, defining eight river types. Water chemistry exhibits the least diversity, defining four types. Moreover, the majority of the rivers studied (12) belong to a single chemical composition type, with very low levels of mineral salts and organic matter. Significant diversity was found among river types in the functioning of the autotrophic component of ecosystems. This diversity is due to varying levels of planktonic and epilithic algae abundance, as well as varying ratios of accessory photosynthetic pigments.

Keywords: mountain rivers; landscape-geographical indicators; physical-chemical indicators; phytoepilithon, phytoplankton; chlorophyll; pigment characteristics; typification.

Received July 14, 2025. Accepted: September 8, 2025

Сведения об авторах

Котовицкий Антон Викторович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. ORCID: 0000-0001-8427-3329. E-mail: kotovschik@iwep.ru.

Дьяченко Александр Владимирович – научный сотрудник лаборатории гидрологии и геоинформатики Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная д. 1. ORCID: 0000-0003-4178-8415. E-mail: dychenko@iwep.ru.

Парадосский Владимир Леонидович – инженер лаборатории гидробиологии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная д. 1. E-mail: paradossky@mail.ru.

Information about the authors

Kotovshchikov Anton Viktorovich – PhD in Biology, Senior Researcher at the Laboratory of Hydrobiology of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0001-8427-3329. E-mail: kotovschik@iwep.ru

Dyachenko Alexander Vladimirovich – Researcher at the Laboratory of Hydrology and Geoinformatics of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-4178-8415. E-mail: dychenko@iwep.ru.

Paradossky Vladimir Leonidovich – engineer at the Laboratory of Hydrobiology of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: paradossky@mail.ru.