

© В. А. Бакаев, Н. В. Савченко

DOI: [10.15293/2226-3365.1506.20](https://doi.org/10.15293/2226-3365.1506.20)

УДК 556.551 + 550.4

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ И ДИНАМИКА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ОЗЁРНЫХ ВОД ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В. А. Бакаев, Н. В. Савченко (Новосибирск, Россия)

*В статье на основе обобщения многолетних исследований рассматриваются факторно-пространственные особенности содержания органического вещества в разнотипных малых озерах всего спектра природных зон Западной Сибири. Для характеристики органического вещества используются показатели окисляемости воды – перманганатная (окисление  $KMnO_4$ ) и бихроматная (окисление  $K_2Cr_2O_7$ ), а также совокупность переводных коэффициентов, позволяющая всесторонне охарактеризовать природу ОВ. Для каждой ландшафтной зоны рассмотрены особенности территориальной и внутриводоемной дифференциации, сезонной динамики ОВ. Географическое распределение ОВ характеризуется увеличением его содержания в направлении от пресноводных озер тундры к водоемам лесостепной зоны, максимально высокие концентрации характерны для сильноминерализованных озер лесостепи и степи. Территориально-сезонная динамика предопределяется соотношением аллохтонного и автохтонного ОВ. В пресноводных озерах тенденции к увеличению содержания прослеживаются с начала гидрологического лета в каждой ландшафтной зоне (преобладает аллохтонное ОВ, поступающее с водосбора), максимальные значения отмечены в летне-осенний период (рост продукции автохтонного ОВ), минимальные – в зимний период. Для сезонной динамики ОВ соленых озер характерны наибольшие концентрации в зимне-весенний и осенне-зимний периоды, а наименьшие – в летний. Специфика горизонтального и вертикального распределения ОВ во всех типах озерных водоемов тесно сопряжена с особенностями зарастания и гидрографией озер. В заключении выделены величины фонового отношения аллохтонного и автохтонного ОВ в зональном разрезе и отмечена роль антропогенного фактора.*

**Ключевые слова:** малые озера, органическое вещество, Западная Сибирь.

Химический состав поверхностных вод формируется в результате взаимодействия большого комплекса физико-географических,

биохимических и физических процессов, протекающих как в самом водоёме, так и на его водосборе. Множественность определяющих

**Бакаев Владимир Александрович** – преподаватель кафедры географии, регионоведения и туризма, Институт естественных и социально-экономических наук, Новосибирский государственный педагогический университет

E-mail: [bakaev\\_dgn@mail.ru](mailto:bakaev_dgn@mail.ru)

**Савченко Николай Владимирович** – кандидат географических наук, доцент, Новосибирский государственный аграрный университет

E-mail: [savchenkonv52@mail.ru](mailto:savchenkonv52@mail.ru)

факторов порождает разнообразие озёрных вод не только по основному гидрохимическому составу, но и по содержанию и качественной характеристике органического вещества (ОВ).

Органические вещества озёрных вод имеют большое геохимическое, медико-биологическое и геоэкологическое значение. Заключается оно в том, что содержащиеся в нём гумусовые кислоты играют важную роль в формировании состава этих вод. Обладая сильной кислотностью, они наряду с двуокисью углерода, придают воде свойства агрессивности к карбонатным и даже изверженным горным породам. Гумусовые кислоты обладают также способностью образовывать комплексные соединения с различными металлами, в особенности с тяжёлыми. Такие соединения (металлоорганические комплексы) служат одной из главных форм переноса (миграции) многих элементов и представляют собой

наиболее легко усваиваемую форму питания растений микроэлементами [1–7]. Соответственно, они оказывают как негативное, так и позитивное влияние на организм человека и домашних животных. В настоящее время в научной литературе наблюдается интерес к изучению распределения ОВ в глобальном [8], региональном [2; 9] и локальном масштабе [10].

Для оценки ОВ (количества, качества, дифференциации, динамики) в воде озёр определялись такие косвенные показатели, как бихроматная и перманганатная окисляемость (БО и ПО). В последующем, по их количественным значениям и с помощью переводных коэффициентов О. А. Алёкина [1], произведены расчёты и перерасчёты содержания органического углерода ( $C_{орг}$ ), который составляет 50 % от ОВ, а также кислородного эквивалента (КЭ), общей суммы ОВ ( $\Sigma_{ОВ}$ ), его стойкость к окислению и степень окисленности (табл. 1).

Таблица 1

**Состав и содержание органического вещества в озёрах\*  
разных ландшафтных зон Западной Сибири**

ПО, мг О/л	БО, мг О/л	$C_{орг.}$ , мг С/л	ПО от БО, %	Стойкость ОВ к окислению, БО/ПО	Степень окис- ленности ОВ, ПО/ $C_{орг}$	Кислородный эк- вивалент (КЭ), БО/ $C_{орг}$ .	Доля ОВ от $\Sigma_{ОВ}$ , %
<b>Тундра (n = 581)</b>							
<u>0,4 – 14,0</u> 2,6	<u>1,8 – 29,0</u> 7,3	<u>0,7 – 10,9</u> 2,75	<u>22,2 – 48,3</u> 35,6	<u>2,1 – 4,5</u> 2,81	<u>0,6 – 1,3</u> 0,95	2,65	12,6
<b>Лесотундра (n = 115)</b>							
<u>2,0 – 6,2</u> 5,0	<u>8,0 – 64,0</u> 29,2	<u>3,0 – 24,0</u> 11,0	<u>9,7 – 25,0</u> 17,1	<u>4,0 – 10,3</u> 5,84	<u>0,3 – 0,7</u> 0,45	2,65	33,7
<b>Северная тайга (n = 269)</b>							
<u>0,8 – 13,6</u> 8,0	<u>2,2 – 62,3</u> 30,6	<u>0,8 – 23,4</u> 11,5	<u>21,8 – 36,4</u> 26,1	<u>2,8 – 4,6</u> 3,82	<u>0,6 – 1,0</u> 0,7	2,66	44,7

Средняя тайга (n = 82)							
$\frac{3,2 - 122,0}{27,7}$	$\frac{9,3 - 167,2}{47,5}$	$\frac{3,5 - 62,7}{17,8}$	$\frac{34,4 - 73,0}{58,3}$	$\frac{1,4 - 2,9}{1,71}$	$\frac{0,9 - 1,9}{1,56}$	2,67	65,9
Южная тайга (n = 151)							
$\frac{3,9 - 131,4}{37,2}$	$\frac{11,2 - 170,3}{56,1}$	$\frac{4,2 - 63,9}{21,0}$	$\frac{34,8 - 77,2}{66,3}$	$\frac{1,3 - 2,9}{1,51}$	$\frac{0,9 - 2,1}{1,77}$	2,67	72,8
Лесостепь** (n = 151)							
$\frac{1,8 - 130,9}{29,4}$	$\frac{27,3 - 258,7}{84,3}$	$\frac{10,2 - 97,0}{31,6}$	$\frac{6,6 - 50,6}{34,9}$	$\frac{2,0 - 15,2}{2,87}$	$\frac{0,2 - 1,3}{0,93}$	2,67	7,9
Лесостепь*** (n = 48)							
$\frac{22,6 - 124,7}{67,6}$	$\frac{113,4 - 739,7}{391,8}$	$\frac{42,5 - 277,4}{146,9}$	$\frac{16,9 - 19,9}{17,3}$	$\frac{5,0 - 5,9}{5,79}$	$\frac{0,4 - 0,5}{0,46}$	2,67	3,0
Степь** (n = 38)							
$\frac{1,2 - 161,6}{31,2}$	$\frac{11,5 - 138,1}{44,3}$	$\frac{4,3 - 51,8}{16,6}$	$\frac{10,4 - 117,0}{70,4}$	$\frac{0,9 - 9,6}{1,42}$	$\frac{0,3 - 3,1}{1,88}$	2,66	1,8
Степь*** (n = 20)							
$\frac{15,5 - 138,7}{66,9}$	$\frac{117,0 - 784,2}{437,9}$	$\frac{43,9 - 294,1}{164,2}$	$\frac{13,2 - 17,7}{15,3}$	$\frac{5,7 - 7,5}{6,55}$	$\frac{0,4 - 0,5}{0,41}$	2,67	1,1
<i>Примечание.</i> В числителе – пределы, в знаменателе – средние значения за 1978–2014 гг.; n – количество озёр; * – данные только по озёрам, расположенным вне сферы прямого влияния загрязняющих антропогенных факторов; ** – данные по пресным и солоноватым озёрам, *** – данные по сильно минерализованным (солёным и рассольным) озёрам							

Загруженность озёр Западной Сибири ОВ характеризуется широкими пределами [2; 9–10]. Даже в границах какой-либо одной озёрной системы или одного озёрного района его значения заметно варьируют в пределах олиго-, мезо- и полигумозной гумификации. Так, в территориально-региональном направлении, самые высокие показатели СОРГ характерны для водоёмов Вахского, Кондинского, Среднеобского, Нижнетобольского, а также северных окраин Верхнетобольского, Ишимского, Среднеиртышского, Чано-Бара-

бинского озёрных районов. В зональном разрезе его наибольшие среднемноголетние значения возрастают с 17,8 мг С/л в озёрных районах средней тайги до 31,6 в северной лесостепи. В свою очередь, внутри указанных районов и ландшафтных зон наибольшие значения ОВ наблюдаются в конечных водоёмах озёрно-речных, древне ложбинных и межгивных долин стока, которые аккумулируют биосток с обширной водосборной площади.

Абсолютными рекордистами в этом отношении являются приустьевые и приточные озёра в бассейнах левых (рр. Бол. Тап, Юконда,

Мулымья) и правых притоков (рр. Кума, Канда) среднего течения р. Конды, правых притоков р. Оми (бассейны рек Изес, Кама, Ича), среднего и нижнего течения р. Ваха. Хотя различия в максимальных концентрациях  $S_{орг}$  здесь варьируют в очень узких пределах (0,2–1,6 мг/л), но его абсолютные среднесезонные количественные значения достигают 69–71 мг С/л.

Ещё более впечатляющие концентрации  $S_{орг}$  характерны для сильно минерализованных озёр лесостепи и степи, где его показатели достигали, соответственно, 147 и 164 мг С/л (табл. 1). Это в 5–8 раз выше, чем в пресноводных водоёмах этих же территорий.

Таким образом, в территориальной дифференциации ОВ можно отметить две основные закономерности:

1. Рост содержания ОВ в направлении от пресноводных озёр тундры (2,75 мг С/л) к водоёмам лесостепи (31,6 мг С/л). Очевидно, что это связано с адекватными зональными изменениями радиационно-климатических и почвенно-биотических условий, определяющих, с одной стороны, продуктивность и интенсивность биологического круговорота сухоходольных частей ландшафтов, а с другой – биопродуктивность самих лимнионов.

2. Чрезмерно высокая концентрация ОВ во всех сильноминерализованных лесостепных и степных озёрах обусловлена сочетанием влиянием двух факторов: радиационно-климатическими условиями, благоприятными для продукции альгофлоры, и высокой концентрацией в воде ионов хлора, резко лимитирующих микробиологическую деструкцию ОВ.

Для определения природы органического вещества используют не только косвенные показатели, такие как ПО и БО, но и их разнообразные соотношения, в том числе и с  $S_{орг}$ . ПО свидетельствует о наличии в составе

ОВ сравнительно легкоразлагаемых его компонентов, чаще автохтонного (планктоногенного) происхождения. Напротив, величина БО указывает на содержание в воде трудноразлагаемой органики и преимущественно аллахтонного (терригенного) генезиса. Закономерно, что средние значения обоих показателей заметно возрастают, соответственно, от 2,6 и 7,3 мгО/л в озёрах зоны тундры до 31,2 и 44,3 в степной зоне при некотором их скачке в водоёмах южных окраин подзоны южной тайги и северной периферии лесостепи. Наивысшие их показатели характерны для солёных озёр лесостепи и степи. В целом значения ПО и БО на большей части Западной Сибири (от средней тайги до степи) в количественном отношении значительно выше таковых, чем на европейской территории России, что подтверждается многочисленными материалами [9; 11; 12]. Напротив, от зоны тундры до средней тайги, они имеют существенно меньшие значения, чем в озёрах этих же зон европейской части страны. Очевидно, что данная тенденция обусловлена более экстремальными (континентальными) радиационно-климатическими условиями и значительно большей степенью криогенности и заболоченности Западно-Сибирской субарктики, оказывающих лимитирующее влияние на автохтонную биопродуктивность озёр. Сказанное подтверждается также данными отношения ПО от БО: на всей территории тундры, лесотундры и северной тайги средние значения ПО от БО варьируют в пределах 17,1–35,6 % и указывают на незначительную долю автохтонной органики в общем количестве ОВ водоёмов. Однако, начиная от средней тайги и к степи, автохтонное продуцирование озёр начинает расти и даже становится доминирующим в большинстве водоёмов (преимущественно у пресноводных и бессточных). Исключение составляют лишь сильно минерализованные

озёра степи и лесостепи, где эти отношения снижаются до величин, сопоставимых со значениями в озёрах лесотундры.

Важной характеристикой ОВ озёрных вод является кислородный эквивалент (КЭ), который определяется отношением кислорода БО к органическому углероду. Известно, что для ОВ углеводного типа КЭ равен 2,67 в расчёте на 1 мг углерода глюкозы [13]. Величина КЭ в воде озёр тундры, лесотундры, северной тайги и степи чуть меньше, чем в глюкозе, что характерно для приточных вод весенне-паводочного периода. В средне- и южнотаёжных, лесостепных, а также в минерализованных озёрах степных регионов КЭ составляет 2,67. Следовательно, ОВ озёрных вод Западной Сибири всегда и много содержит трудно окисляемых гумусовых веществ, среди которых доминируют гуминовые и фульвокислоты. Обе эти кислоты характерны для терригенного гумуса, они не содержатся в живых растительных и животных тканях. Соотношение между ними в разных торфах и почвах неодинаково. К примеру, в чернозёмах степи преобладают гуминовые кислоты, а в подзолистых почвах и торфяниках тундры, лесотундры и тайги больше фульвокислот [14]. Природные воды, соприкасаясь с такими почвами и торфами, вымывают из них часть этих кислот, других промежуточных продуктов распада и гумификации. Особенно легко этот процесс протекает в таёжных и болотных почвах, поглощающий комплекс которых насыщен водородом, поэтому в озёрных водах на всей этой территории из всей суммы растворённых веществ на долю органических приходится от 33,7 % до 72,8 %. Неслучайно в этих же водоёмах средняя цветность воды по *Pt – Co* шкале варьирует соответственно от 8–136° до 114–336°, а у дна может достигать 2 300° [3; 9].

Наличие этих и иных трудно окисляемых ОВ в озёрных водах подтверждается показателями их стойкости к окислению (БО/ПО) и степени окисленности (ПО/СОПГ). Так, в водоёмах тундры, лесотундры и северной тайги степень их окисленности всегда меньше одного, а пределы стойкости к окислению высокие и составляют в среднем 2,81–5,84. Следовательно, наряду с малой долей ПО от БО, подтверждается факт доминирования в озёрных водах указанного субрегиона (как и в солёных степных) ОВ терригенного генезиса.

В среднетаёжных и южнотаёжных озёрах, особенно в пресноводно-степных, прослеживаются аналогичные закономерности: синхронно росту доли ПО от БО растёт степень окисленности ОВ (от 1,56 до 1,88) и, соответственно, снижается его стойкость к окислению (с 1,71 до 1,42). В данном случае это повторное свидетельство о преобладающей роли автохтонной органики в общей сумме ОВ.

И, наконец, лесостепной субрегион Западной Сибири по природе и генезису ОВ озёрных вод в северных перифериях характеризуется аллахтонными тенденциями, а в южной – автохтонными.

Тем не менее, следует иметь в виду, что автохтонное органообразование в озёрных водах любой ландшафтной зоны обусловлено непрерывно и одновременно протекающими процессами синтеза первичного ОВ и его разложения. Первичное ОВ, в котором преобладает пектиново-протеидный и углеводный комплексы, образуется альгофлорой, водопогружёнными макрофитами, хемосинтезирующими бактериями. В последующем, через цепи питания зоогидрофауны и под влиянием жизнедеятельности аэробных и анаэробных микроорганизмов, первичное ОВ подвергается процессам регенерации и минерализации, без которых невозможно питание гидрофлоры и новообразование ОВ.

Охарактеризованная выше природа ОВ и его территориальная дифференциация не является абсолютной аксиомой для всех типов озёр. Основные её зональные черты справедливы лишь для водоёмов, расположенных на сравнительно дренированных территориях. В то же время, в каждой ландшафтной зоне количественные и качественные характеристики ОВ зачастую нивелируются азональными (геолого-геоморфологическими) и локальными (морфолимническими) факторами. К примеру, если аллахтонный характер ОВ тяжёлых озёр обычно обусловлен интенсивным притоком гумусированных вод с широко распространённых здесь болот, торфяников и подзолистых почв, то в южнолесостепных и степных это предопределяется ещё и геолого-геоморфологическими факторами: широким распространением в данном топорегионе гривного рельефа и древних ложбин стока. Если гривы напрямую поставляют терригенное ОВ со своих чернозёмосодержащих склонов, то по ложбинам стока оно вымывается как из почв склонов, так и дополнительно приносится из более северных регионов (в том числе и из заболоченных лесостепных и даже из подтаёжных) [2].

В территориально-сезонной динамике ОВ озёр разных ландшафтных зон также прослеживаются определённые закономерности. Во время паводка (июнь, начало июля – в тундре; май, июнь – в тайге; апрель, май – в степи и лесостепи) оба показателя окисляемости довольно высоки и обусловлены повышенным выносом с водосборов взвешенных (ВОВ) и растворённых (РОВ) органических веществ (табл. 2). Доля легкоокисляемой фракции органики к общему её содержанию в этот период во всех озёрах незначительная: от

6 % до 7 % в степи до 17–21 % в тайге и тундре. Для летне-осеннего периода характерно относительное увеличение ПО. Оно обусловлено процессами накопления ОВ автохтонного происхождения. Наиболее заметный рост доли ПО от БО происходит с июля по сентябрь, в особенности в водоёмах средней, южной тайги и в пресноводных озёрах лесостепи и степи.

В зимний период ПО относительно низкая и значение ПО от БО для большинства пресных озёр находится преимущественно в пределах 0,4–4,6 %. В количественной динамике органического углерода прослеживаются те же сезонные тенденции, что в ПО и БО.

Несколько своеобразно характеризуется сезонная динамика ОВ в солёных озёрах лесостепи и степи. В конце марта, апреле, начале мая, когда происходит интенсивное снеготаяние, со стоком в водоёмы поступает, *во-первых*, много аллахтонной органики, а *во-вторых*, питательных минеральных и биогенных элементов. Поступление первых ведёт к росту БО, а вторые на фоне быстрого удлинения продолжительности светового дня, активизируют развитие альгофлоры и, соответственно, увеличение значений ПО. Однако доля ПО от БО остаётся крайне низкой. Например, в озере Атаичье она варьирует в пределах 3,2–6,0 %, что свидетельствует об абсолютном доминировании в воде трудноокисляемых ОВ. В июне, в связи с резким сокращением стока с водосборов, БО начинает снижаться, а тенденция роста ПО сохраняется. В середине лета (июль – начало августа), в связи с аридизацией погодных условий и снижением уровня лимнионов, значения ПО и БО достигают своих минимальных значений.

Таблица 2

**Сезонная динамика органического вещества в некоторых озерах ключевых полигонов-трансектов Западной Сибири**

Полигон-трансект	Озеро	Месяц наблюдений	ПО	БО	ПО от БО, %	Сорг, мг/л
			мг О/л			
Нёятинский тундровый 1991–1993 гг.	Нейго 1-е	II	0,4	2,9	13,8	1,1
		V	0,4	2,7	14,8	1,0
		VI	1,3	6,2	21,0	2,3
		VII	2,2	13,2	16,7	4,95
		VIII	3,6	11,4	31,6	4,3
		IX	3,1	11,2	27,7	4,2
Кондинский среднетаёжный 1994–1997 гг.	Веща – Тур	IV	5,3	43,0	12,3	16,1
		V	9,6	47,2	20,3	17,7
		VI	11,2	65,0	17,2	24,4
		VII	21,4	71,6	29,9	26,9
		VIII	39,2	77,3	50,7	29,0
		IX	37,1	69,0	53,8	25,9
Пригарский подтаёжный 1981–2013 гг.	Данилино	II	1,6	11,4	14,0	4,3
		IV	2,2	13,2	16,7	4,8
		V	3,9	16,4	23,8	6,2
		VI	4,1	18,6	22,0	7,0
		VII	21,7	40,8	53,2	15,3
		VIII	19,2	35,2	54,5	13,2
Атаичевский северо-степной 1988–2014 гг.	Атаичье	IX	15,7	30,6	51,3	11,5
		XII	4,6	24,2	19,0	9,1
		I	17,2	333,2	5,2	125,0
		II	19,1	590,0	3,2	221,3
		III	20,1	637,0	3,2	238,9
		IV	37,2	668,0	5,6	250,5
		V	46,1	713,0	6,5	267,4
		VI	59,4	312,6	19,0	117,2
		VII	52,6	237,8	22,1	89,2
		VIII	108,4	702,9	15,4	263,6
		IX	54,2	730,1	7,4	273,8
		X	44,3	680,7	6,5	255,3
XI	30,5	620,3	4,9	232,6		
XII	27,0	520,0	5,2	195,0		

Хотя величина ПО от БО в это время возрастает до 15–22 % и указывает на рост доли

автохтонной органики, однако по-прежнему в солёных озёрах доминирует аллахтонное ОВ.

В августе и сентябре на фоне оптимальных радиационно-климатических условий величины ПО и БО достигают своих максимальных внутригодовых значений. В октябре, в связи со снижением температуры воды при одновременном некотором росте атмосферных осадков, оба показателя уменьшаются: ПО сравнительно быстро, а БО более медленно. Зимой ПО и БО имеют наименьшие внутригодовые показатели.

В динамике органического углерода солёных озёр в целом прослеживаются аналогичные тенденции, но имеются и принципиальные отличия: наибольшие его концентрации характерны для зимне-весеннего и осенне-зимнего периодов, а наименьшие – для летнего. Очевидно, что летом в условиях сочетания сравнительно высокой температуры воды и хорошей её насыщенности растворённым кислородом аэробная деятельность микроорганизмов способствует лучшей деструкции ОВ. Зимой в условиях максимальных значений минерализации в целом и ионов хлора в

частности, низкой температуры воды и почти полного отсутствия растворённого кислорода деструктивная деятельность микроорганизмов, в том числе и анаэробных, крайне замедлена [15]. Поэтому большая часть органической массы отмерших и слабо деструктированных фито- и зоофильных организмов сохраняется в озёрах до момента вскрытия их ледяного покрова. Сезонная динамика ОВ солёных озёр не всегда характеризуется отмеченными выше особенностями. Так, водоёмы конечного стока – оз. Кулундинское, Кучукское, Бол. Топольное, Горькое-Перешеечное, Горькое, расположенные в долинах древнего стока (Кулундинской, Бурлинской, Касмалинской, Барнаульской) территории Кулундинского озёрного района, обычно характеризуются теми же тенденциями внутригодового хода ОВ, что и пресноводные озёра.

Рассмотрим специфику горизонтального и вертикального распределения ОВ во всех типах озёрных водоёмов (табл. 3).

Таблица 3

**Распределение  $C_{орг}$  в пределах некоторых ключевых озёр (среднее значение за период открытой воды, V–IX)**

Зона	Озеро и его координаты	Морфологический тип	Площадь акватории, км <sup>2</sup>	Минерализация, мг/л	Год наблюдений	Место взятия пробы	Содержание $C_{орг}$ , мг/л
Тундра	Нейто 1-е 70° 12' с. ш., 70° 32' в. д.	П	29,67	35,0	1991–1993	Устье р. Танюй-Яха, поверхность	3,3
						Центр озера, поверхность	2,8
						Центр, на глубине 10 м	2,4
						Центр, дно (22 м)	1,6
						Пролив Нгэво – Хымдселава	2,9

	Мал. Юнто 68° 30' с. ш., 73° 29' в. д.	Л	1,72	39,0	1991–1993	Центр, поверхность (до прилива) 3,1 Центр, поверхность (после прилива) 4,3 Центр, дно (до прилива) 3,6 Центр, дно (после прилива) 4,6 Протока в оз. Бол. Юнто 3,4
Средняя тайга	Веща – Тур 60° 07' с. ш., 66° 12' в. д.	Л	0,24	38,1	1994–1997	Центр, поверхность 17,1 Центр, дно 17,0 У северо-западного берега 17,7 У юго-восточного берега 26,1 Устье р. Охилок 26,9 Протока в оз. Волх-Тав-Тур 26,3
Подтайга	Данилино 56° 26' с. ш., 76° 04' в. д.	ПЛ	0,045	278,0	1981–2013	У южного берега 4,8 Центр, поверхность 4,1 Центр, дно (17,5 м) 4,2
Лесостепь	Мал. Агучак 56° 06' с. ш., 76° 12' в. д.	Л	1,27	239,5	1981–2014	Центр, поверхность 18,6 Центр, дно (2,2 м) 16,2 У западного берега 17,1
Степь	Атаичье 54° 29' с. ш., 75° 36' в. д.	Л	3,8	311 600	1988–2014	У южного берега 262,1 Центр, поверхность 202,2 Центр, дно (1,6 м) 191,6 У северного берега 257,3
	Кулундин- ское	Л	720,0	73 078*	1995–1997	Устье р. Кулунды 21,2 Центр, поверхность 28,5 Центр, дно (1,6 м) 26,2
<i>Примечание.</i> Морфологические типы озёр (П – профундальный, ПЛ – профундально-литоральный, Л – литоральный); * – показатель Л. В. Весниной с соавторами [16]						

В малых бессточных озёрах литорального морфологического типа каких-либо закономерно-чётких различий не выявлено. У некоторых из них, имеющих бордюрный тип зарастания, отмечается относительно пониженное содержание ОБ в открытых частях плёсов. Это обусловлено, вероятно, преобладанием автохтонных процессов над аллахтонными (оз. Веща-Тур, Данилино, Мал. Агучак). У других количество ОБ возрастает в местах впадения в озёра рек или ручьёв, приносящих

значительные количества аллахтонной органики. В крупных пресных и солёных озёрах доля ОБ всегда возрастает вблизи берегов и в устьях притоков, что также связано с доминированием аллахтонных тенденций над автохтонными. В вертикальном плане они характеризуются незначительным снижением количества органики от поверхности к дну водоёма.

В заключении следует отметить, что в формировании ОБ многих озёр существенную роль играют антропогенные факторы. В част-

ности, во всех озёрах антропогенного генезиса, либо в естественных водоёмах, которые находятся в зоне непосредственного влияния

какого-либо негативного антропогенного фактора, содержание органических веществ всегда выше в сравнении с фоновыми показателями (табл. 4).

Таблица 4

**Фоновые и антропогенные значения доли ПО от БО  
в разнolandшафтных озёрах Западной Сибири**

Ландшафтная зона	Доля ПО от БО, %		
	Естественный фон	Антропогенный фон	Динамика
Тундра	35,6	64,9	+29,3
Лесотундра	17,1	61,6	+44,5
Северная тайга	26,1	82,2	+56,1
Средняя тайга	58,3	74,9	+16,6
Южная тайга	66,3	77,5	+11,2
Лесостепь	34,9	70,4	+35,5
Степь	70,4	54,8	-15,6

Обусловлено это тем, что по мере загрязнения озёр увеличивается доля легко окисляемого органического вещества. Эта тенденция прослеживается во всех ландшафтных зонах. Лишь в озёрах степи, в сравнении с фоновыми показателями, доля ПО от БО не повысилась, а снизилась на 15,6 %.

Мы полагаем, что это обусловлено лишь одной причиной – резким спадом агропромышленного производства: сокращением доли пашни, количества вносимых органических и минеральных удобрений, уменьшением поголовья сельскохозяйственных животных, свёртыванием мелиоративно-осушительных работ и, как следствие всего этого, снижением смыва и дефляции терригенного материала в озёра. Напротив, в других ландшафтных зонах в течение длительного периода времени – уже около 50 лет – природа находится под интенсивным воздействием нефтегазового и лесного комплексов, которое не снижалось даже

в 1990-е гг. Говоря об экологических проблемах Обского тундрово-таёжного бассейна, следует отметить, что мало найдётся районов даже в масштабах всех континентов, которые бы осваивались современной техникой в столь бурном темпе. Разведочное и эксплуатационное бурение скважин, прокладка сборных и магистральных трубопроводов, возрастающее в связи с этим строительство дорог, обустройство вахтовых посёлков, разработка древесины, интенсивное движение транспорта и многое другое приводят к отторжению значительной части земельного фонда, механическим нарушениям ландшафтов, химическому, тепловому и шумовому загрязнению, замене коренных экосистем производными [17]. Всё это не могло не сказаться на повышении концентрации в озёрах ОБ, которое резко изменяет их трофический статус не только в сторону эвтрофии, но и всё чаще к дистрофии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алёкин О. А.** Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
2. **Савченко Н. В.** Озера южных равнин Западной Сибири. – Новосибирск: ИПА СО РАН; Изд-во СибУПК, 1997. – 297 с.
3. **Савченко Н. В.** Гидрохимическое состояние озёр низменных равнин северной Евразии (на примере Западной Сибири). – Новосибирск, 2004. – 92 с. – Деп. в ВИНТИ, № 1266.
4. **Глазовская М. А.** Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М.: Высш. шк., 1988. – 328 с.
5. **Перельман А. И.** Геохимия природных вод. – М.: Наука, 1982. – 154 с.
6. **Moiseenko T. I., Dinu M. I., Gashkina N. A., Kremleva T. A.** Metal speciation in natural waters and metal complexing with humic matter // *Doklady Earth Sciences*. – 2012. – Т. 442, № 2. – P. 267–271.
7. **Моисеенко Т. И., Дину М. И.** Феномен нарастания органических кислот в природных водах и их влияние на закисление вод // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 460, № 5. – С. 574.
8. **Sobek S., Tranvik L. J., Prairie Y. T., Kortelainen P., Cole J. J.** Patterns and regulation of dissolved organic carbon: An analysis of 7,500 widely distributed lakes // *Limnol. Oceanogr.* – 2007. – Vol. 52. – P. 1208–1219.
9. **Гашкина Н. А., Моисеенко Т. И., Кремлева Т. А.** Особенности распределения биогенных элементов и органического вещества в малых озерах и лимитирование их трофности на европейской территории России и Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. – 2012. – № 12. – С. 17–25.
10. **Бакаев В. А., Савченко Н. В.** Зональные особенности гидрохимического состояния малых озёр Новосибирской области // Мир науки, культуры, образования. – 2013. – № 5. – С. 430–434.
11. **Китаев С. П.** Экологические основы биопродуктивности озёр разных природных зон. – М.: Наука, 1984. – 207 с.
12. **Драбкова В. Г., Беляков В. П., Денисова И. А. и др.** Закономерности формирования экосистем тундровых озёр и их изменение под влиянием антропогенного воздействия // Особенности структуры экосистем озёр Крайнего Севера. – СПб.: Наука, 1994. – С. 242–248.
13. **Николаева Е. Н., Скопинцев Б. А.** Бихроматная окисляемость в водах рек и озёр Помосковья и крупных рек Советского Союза // Гидрохим. матер. – 1961. – Т. 31. – С. 113–126.
14. **Клёнов Б. М.** Гумус почв Западной Сибири. – М.: Наука, 1981. – 143 с.
15. **Кузнецов С. И.** Микробиологическая характеристика процессов минерализации органического вещества в озёрах разной степени солёности // Труды сапропелевой лаборатории. – 1950. – Вып. 4, Сообщен. 1. – С. 5–14.
16. **Веснина Л. В., Журавлёв В. Б., Новосёлов В. В. и др.** Водоемы Алтайского края: биологическая продуктивность и перспективы использования. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1999. – 285 с.
17. **Валеева Э. И., Московченко Д. В.** Роль водно-болотных угодий в устойчивом развитии. – Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2001. – 228 с.

DOI: [10.15293/2226-3365.1506.20](https://doi.org/10.15293/2226-3365.1506.20)

Bakaev Vladimir Alexandrovich, Graduate of Physical Geography and Tourism Faculty, Institute of Natural Social and Economic Sciences, Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russian Federation.

E-mail: [bakaev\\_dgn@mail.ru](mailto:bakaev_dgn@mail.ru)

Savchenko Nikolay Vladimirovich, Candidate of Geographic Sciences, Associate Professor, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russian Federation.

E-mail: [savchenkonv52@mail.ru](mailto:savchenkonv52@mail.ru)

## ECOLOGICAL DIFFERENTIATION AND DYNAMICS OF ORGANIC MATTER LAKESIDE WATERS OF WESTERN SIBERIA

### Abstract

*On the basis of summarizing long-term studies are considered factor-spatial features of the content of organic matter in different types of small lakes the entire spectrum of natural areas in Western Siberia. To characterize the organic matter used indicators of water oxidation - permanganate (oxidation  $KMnO_4$ ) and dichromate (oxidation  $K_2Cr_2O_7$ ), as well as a set of conversion factors, which allows fully characterize the nature of the agents. For each landscape zone and the features of territorial differentiation, seasonal dynamics of organic matter. Geographical distribution of organic matter is characterized by increasing its content in the direction of freshwater lakes of the tundra ponds to the forest steppe zone, the highest possible concentration characteristic of hyperhaline steppe lakes. Territorial and seasonal dynamics determined by the ratio of allochthonous and autochthonous organic matter. In freshwater lakes tendency to increase the content can be traced to the beginning of the hydrological summer landscape in each region (dominated allochthonous organic matter supplied from the watershed), the maximum values observed in summer and autumn (increase of production of autochthonous organic matter), minimum – in winter. For seasonal dynamics characteristic organic matter salt lakes the largest concentrations in the winter-spring and autumn-winter period, and the lowest – in the summer. Specificity of the horizontal and vertical distribution of organic matter in all types of lakes closely connected with the peculiarities of overgrowing of lakes and hydrography. In conclusion, highlighted the value of background ratio of allochthonous and autochthonous organic matter in the zonal section and highlighted the role of anthropogenic factor.*

### Keywords

*Shallow lake, organic matter, Western Siberia*

## REFERENCES

1. Alyokin O. A. *Basics of hydrochemistry*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1970, 444 p. (In Russian)
2. Savchenko N. V. *Lakes southern plains of Western Siberia*. Novosibirsk, SB RAS IPA Publ., SibUPK Publ., 1997, 297 p. (In Russian)
3. Savchenko N. V. *Hydrochemical state of lakes lowland plains of northern Eurasia (the example of Western Siberia)*. Novosibirsk, 2004, 92 p. Dep. VINITI, № 1266. (In Russian)

4. Glazovskaya M. A. *Geochemistry of natural and man-made landscapes of the USSR*. Moscow, Higher HQ Publ., 1988, 328 p. (In Russian)
5. Perelman A. I. *Geochemistry of natural waters*. Moscow, Nauka Publ., 1982, 154 p. (In Russian)
6. Moiseenko T. I., Dinu M. I., Gashkina N. A., Kremleva T. A. Metal speciation in natural waters and metal complexing with humic matter. *Doklady Earth Sciences*. 2012, Vol. 442, no. 2, pp. 267–271.
7. Moiseenko T. I., Dinu M. I. The phenomenon of the rise of organic acids in natural waters and their impact on water acidification. *Reports of the Academy of Sciences*. 2015, Vol. 460, no. 5, p. 574. (In Russian)
8. Sobek S., Tranvik L. J., Prairie Y. T., Kortelainen P., Cole J. J. Patterns and regulation of dissolved organic carbon: An analysis of 7,500 widely distributed lakes. *Limnol. Oceanogr.* 2007, Vol. 52, pp. 1208–1219.
9. Gashkina N. A., Moiseenko T. I., Kremleva T. A. Features of distribution of nutrients and organic matter in small lakes and limiting their trophic in European Russia and Western Siberia. *Bulletin of the Tyumen State University. Ecology and nature*. 2012, no. 12, pp. 17–25. (In Russian)
10. Bakaev V. A., Savchenko N. V. Zone features small lakes hydrochemical state of the Novosibirsk Region. *The world of science, culture and education*. 2013, no. 5, pp. 430–434. (In Russian)
11. Kitaev S. P. *Ecological bases of bio-productivity of lakes of different natural zones*. Moscow, Nauka Publ., 1984, 207 p. (In Russian)
12. Drabkova V. G., Belyakov V. P., Denisova I. A. et al. Patterns of formation of tundra ecosystems of lakes and their change under the influence of anthropogenic influence. *Features of the structure of the Far North Lakes ecosystem*. S. Petersburg, Science Publ., 1994, pp. 242–248. (In Russian)
13. Nikolaeva E. N., Skopintsev B. A. Dichromate oxidation in the waters of rivers and lakes and large rivers Pomoskovya Soviet Union. *Hydrochemical. mater.* 1961, Vol. 31, pp. 113–126. (In Russian)
14. Klenov B. M. *Humus soil Western Siberia*. Moscow, Nauka Publ., 1981, 143 p. (In Russian)
15. Kuznetsov S. I. The microbiological characteristics of the process of mineralization of organic substances in the lakes of varying degrees of salinity. *Proceedings of sapropelic laboratory*. 1950, Vol. 4, Report. 1, pp. 5–14. (In Russian)
16. Vesnina L. V., Zhuravlev V. B., Novoselov V. V. and others. *Reservoirs of the Altai Territory: biological productivity and prospects*. Novosibirsk, Nauka. Sib. Dep. Publ., 1999, 285 p. (In Russian)
17. Valeeva E. I., Moskovchenko D. V. *The role of wetlands in sustainable development*. Tyumen Univ. IFSP SB RAS Publ., 2001, 228 p. (In Russian)