

Физическая география и геоэкология. Биогеография

УДК 911.2:556.5 (470.331)

ГИДРОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОЗЕРА СЕЛИГЕР

А.А. Цыганов

Тверской государственной университет

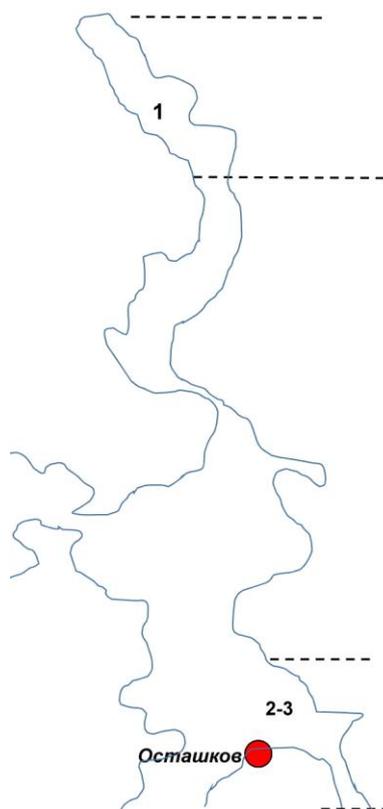
Дана гидрохимическая характеристика озера Селигер. Методика гидрохимической оценки включает анализ качества воды по превышениям над рыбохозяйственными и санитарно-гигиеническими нормативами. Предложенные автором экологические нормативы и индексы загрязнения позволили дать детальный анализ состояния поверхностных вод трёх – наиболее глубоких плёсов озера Селигер.

Ключевые слова: гидрохимия, гидрология, экология, озеро Селигер.

Данная работа посвящена оценке современного гидрохимического состояния наиболее глубоких частей озера Селигер – Полновского, Осташковского и Городского плёсов [1–5] – рис. Система озёр Селигера образует единый озерно-болотно-речной район, собственно бассейн реки Селижаровки.

Полевые исследования автором проводились в июле-октябре 2011 г. В отобранных пробах анализы воды проводились в соответствии с «Руководством по химическому анализу...», 1977». Биологическое потребление кислорода (БПК) определялось скляночным методом, нитриты – фотометрически с реактивом Грисса, нитраты – потенциометрически с ионоселективными элементами, аммонийный азот – фотометрически с реактивом Несслера, фосфор – фотометрически с молибдатом. Определение тяжёлых металлов проводилось в 2013 г. лабораторией ВНИИМЗ методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индукционной плазмой.

Качество воды водных объектов можно оценивать, используя различные *нормативные показатели*. В России используются два класса нормативов – рыбохозяйственные и санитарно-гигиенические.



1– *Полновский плёс* – одна из самых широких и самая глубокая часть озера Селигер (9 м). Менее освоена туристами

2-3 – *Осташковский плёс* и его западная часть – *Городской*. Самый большой и самый широкий (длина 11 км, ширина до 7 км), средняя глубина – 8,5 м. Городская и пригородная территория Осташкова

Р и с. Объекты исследования – три плёса озера Селигер

Министерство природных ресурсов РФ (вместо Росрыбхоза) теперь должно публиковать «Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК^{РХ}) и ориентировочно безопасных уровней вредности (ОБУВ^{РХ}) для воды рыбохозяйственных водоёмов». Для воды водоёмов рыбохозяйственного назначения, согласно [2, 3], качество воды оценивается по двум лимитирующим признакам вредности (ЛПВ): токсикологическому (токс.) и рыбохозяйственному (рыб. хоз.). Для водоёмов, выполняющих хозяйственно-питьевое назначение, оценка включает ещё три признака [1]. Таким образом существуют 5 ЛПВ.

На практике это ведёт к путанице, так как загрязняющее вещество может иметь различные ПДК, относящиеся к различным ЛПВ. Для *экологических целей* следует использовать в первую очередь ПДК^{РХ}, при их отсутствии – ориентировочно безопасные уровни вредности (ОБУВ^{РХ}).

Для некоторых веществ, например, фосфор фосфатов разработаны различные рыбохозяйственные нормативы: для олиготрофных водоёмов – 0,05 мг/л, мезотрофных – 0,15 мг/л, эвтрофных – 0,2 мг/л. Согласно водного законодательства, к водоёмам относятся озёра, пруды, болота. Как применять эти показатели для водотоков (рек и каналов), не понятно. И в тоже время санитарно-гигиенический норматив

ПДК^{пит}_{фосфатов} – 1,14 мг/л. Однако, есть исключения, когда показатели гигиенические (более жёсткие) имеют меньшие значения, чем рыбохозяйственные. Калий силикат (по SiO₃) питьевой норматив – 30 мг/л, а рыбохозяйственный калий – 50; кадмий соответственно 0,001 и 0,005; мышьяк – 0,01 и 0,05; бром – 0,2 и 1,35; рубидий хлорид (соединение) – 0,1 и рыбохозяйственный рубидий (элемент) – 0,1 мг/л.

Всё выше сказанное позволяет утверждать, что *оценка экологического состояния аквальных комплексов* методом соотнесения гидрохимических показателей с ПДК^{px}, имеет ряд недостатков [7–17]:

- превышение значений содержания конкретного ингредиента над его ПДК может быть вызвано как антропогенным воздействием, так и природными (экологическими) причинами;

- вызывает сомнение обоснованность абсолютных значений ряда ПДК^{px}. Например, для меди она составляет 0,001 мг/л, тогда как для водоёмов питьевого назначения ПДК^{пит} – 1 мг/л (различие в 1000 раз). Неслучайно в последние годы произведено изменение ПДК^{px} в сторону увеличения. Например, для фосфора фосфатов – рост в 4 раза (с 0,05 до 0,2 мг/л). По нашему мнению, его нужно приравнять к гигиеническому – 1,14 мг/л, что позволит исключить фосфор из списка загрязнителей поверхностных вод. Вероятно, это произойдет и с показателями БПК₂₀, НП, Fe³⁺ и др.

На практике широко используется *индекс загрязнения воды (ИЗВ₆)*, который рассчитывается по формуле 1:

$$\text{ИЗВ}_6 = 1/6 \sum_{i=1}^6 C_i^{\phi} / \text{ПДК}_i. \quad \text{где} \quad (1)$$

C_i^{ϕ} – фактическая концентрация i -го загрязняющего вещества (ЗВ), мг/л;

ПДК _{i} – предельно допустимая концентрация i -го ЗВ, мг/л.

В расчётах используется 6 ингредиентов, включая растворённый кислород (O₂) и биологическое потребление кислорода за 5 дней (БПК₅), а также четыре ингредиента, имеющие наибольшие значения, независимо от того, превышают они ПДК или нет.

Оценка качества воды Селигера с помощью показателей качества воды рыбохозяйственных водоёмов. Анализ показал (табл. 1), что в Полновском плёсе содержание почти всех ингредиентов ниже предельно допустимых концентраций рыбохозяйственных водоёмов (ПДК^{px}), но превышение по меди – в 2 раза. В Городском плёсе превышены ПДК^{px} по 8 ингредиентам, в Осташковском – по 10.

Т а б л и ц а 1

Качество воды в плёсах озера Селигер, концентрация (С) в мг/л,
29.07.2011 г.

Показатели	С, мг/л					
	ПДК ^{рх}	ПДК ^{пит}	ПДК ^э	1	2	3
O ₂	4,00	4,00	4,00	9,00	6,30	5,70
БПК ₂₀	3,00	3,00	3,00	1,43	4,34	4,92
N _{нитрат}	9,00	10,17	9,00	0,02	0,26	1,89
N _{нитрит}	0,02	1,00	0,02	0,002	0,040	0,050
N _{аммон}	0,40	1,50	0,40	0,007	4,75	1,96
P _{фосф.}	0,20	1,13	0,20	0,070	0,150	0,150
Сульфаты	100,0	500,0	100,0	0,10	4,70	4,30
Хлориды	300,0	350,0	300,0	1,10	8,70	13,30
НП	0,05	0,30	0,05	0,01	0,40	0,56
Железо	0,10	0,30	0,10	0,007	0,030	0,040
Марганец	0,01	0,10	0,01	0,002	0,002	0,0028
Медь	0,001	1,00	0,001	0,002	0,0036	0,0056
Цинк	0,01	1,00	0,01	0,002	0,004	0,021
Бериллий	0,0003	0,0002	0,0002	0,00014	0,00015	0,00015
Стронций	0,40	7,00	0,40	0,00033	0,00054	0,00076
Ванадий	0,001	0,10	0,001	0,00001	0,0004	0,0005
Кобальт	0,01	0,10	0,01	0,0002	0,0010	0,0012
Хром (Cr ³⁺)	0,07	0,50	0,07	0,00008	0,0014	0,0013
Молибден	0,001	0,25	0,001	0,0004	0,0017	0,0018
Свинец	0,006	0,01	0,006	0,00016	0,023	0,023
Селен	0,002	0,01	0,002	0,00012	0,0019	0,0022
Мышьяк	0,05	0,01	0,01	0,00019	0,0021	0,0025
Кадмий	0,005	0,001	0,005	0,00006	0,0016	0,0017
Калий	50,00	30,00	30,00	6,12	4,98	5,84
Кальций	180,00	30,00^x	30,00^x	26,30	28,30	38,30
Никель	0,01	0,02	0,01	0,0003	0,0031	0,0032
Фенолы	0,001		0,001	0	0,0009	0,0008
СПАВ	0,5		0,5	0	0,100	0,080

Примечание: плёсы озера Селигер: 1 – Полновский, 2 – Городской, 3 – Осташковский.

30,0^x – концентрация кальция рекомендации ВОЗ – 30-180 мг/л.

0,0002 – жирным выделены санитарно-гигиенические нормативы с более жёсткой (меньшей) концентрацией, чем рыбохозяйственные.

Т а б л и ц а 2

Качество воды в плёсах озера Селигер, концентрация (С) в мг/л, ПДК^{рх}
водоёмов рыбохозяйственного назначения

Показатели	ПДК ^{рх}	ЛПВ	КО	1		2		3	
				С	С/ПДК	С	С/ПДК	С	С/ПДК
O ₂	4,00	-	-	9,00	0,67 ¹	6,30	0,95 ¹	5,70	2,11¹
БПК ₅	2,01	-	-	1,43	0,48 ²	4,34	2,17²	4,92	2,46²
N _{нитрат}	9,00	токс	4	0,02	0,002	0,26	0,029	1,89	0,210
N _{нитрит}	0,02	токс	4	0,002	0,100	0,040	2,000	0,050	2,500
N _{аммон}	0,40	токс	4	0,007	0,018	4,75	12,179^x	1,96	5,030^x
P _{фосф.}	0,20	сан	4	0,070	0,350 ^x	0,150	0,750	0,150	0,750
Сульфаты	100,00	ст	4	0,10	0,001	4,70	0,047	4,30	0,043
Хлориды	300,00	ст	4	1,10	0,004	8,70	0,029	13,30	0,044
НП	0,05	токс	3	0,01	0,200	0,40	8,000^x	0,56	11,200^x
Железо	0,10	токс	4	0,007	0,070	0,030	0,300	0,040	0,400
Марганец	0,01	ст	4	0,002	0,200	0,002	0,200	0,0028	0,280
Медь	0,001	токс	3	0,002	2,000^x	0,0036	3,600^x	0,0056	5,600^x
Цинк	0,01	токс	3	0,002	0,200	0,004	0,400	0,021	2,100
Бериллий	0,0003	токс	2	0,00014	0,470 ^x	0,00015	0,500	0,00015	0,500
Стронций	0,40	токс	3	0,00033	0,0008	0,00054	0,0014	0,00076	0,0019
Ванадий	0,001	токс	3	0,00001	0,010	0,0004	0,400	0,0005	0,500
Кобальт	0,01	токс	3	0,0002	0,020	0,0010	0,100	0,0012	0,120
Хром (Cr ³⁺)	0,07	ст	3	0,00008	0,001	0,0014	0,020	0,0013	0,019
Молибден	0,001	токс	2	0,0004	0,400 ^x	0,0017	1,700	0,0018	1,800
Свинец	0,006	токс	2	0,00016	0,027	0,023	3,833^x	0,023	3,833^x
Селен	0,0016	токс	2	0,00012	0,075	0,0019	1,187	0,0022	1,375
Мышьяк	0,05	токс	3	0,00019	0,004	0,0021	0,042	0,0025	0,050
Кадмий	0,005	токс	2	0,00006	0,012	0,0016	0,320	0,0017	0,340
Калий	50,00	ст	4	6,12	0,120	4,98	0,100	5,84	0,120
Кальций	180,00	ст	4	26,3	0,146	28,30	0,157	38,30	0,213
Никель	0,01	токс	3	0,0003	0,030	0,0031	0,310	0,0032	0,320
Фенолы	0,001	рх	3	0	0	0,0009	0,900	0,0008	0,800
СПАВ	0,5	-	4	0	0	0,100	0,200	0,080	0,160
ИЗВ ^{рх} _{токс}					0,984		7,540		7,848
ИЗВ ^{рх} ₆					0,728		5,122		5,039
ИЗВ ^{рх} _{полн}				ИЗВ ^{рх} ₃	1,050	ИЗВ ^{рх} ₉	3,957	ИЗВ ^{рх} ₁₀	3,800

Примечание: плёсы озера Селигер: 1 – Полновский, 2 – Городской, 3 – Осташковский

2,000^x – берутся для расчёта ИЗВ₆.

В случае присутствия в воде водного объекта двух и более веществ 1-го и 2-го классов опасности, характеризующихся однонаправленным механизмом токсического действия, т. е. одинакового ЛПВ, сумма

отношений концентраций каждого из них к соответствующим ПДК, т. е. индекс загрязнения воды не должна превышать 1, по формуле 2:

$$\text{ИЗВ}_{\text{токс}}^{\text{px}} = C_1/\text{ПДК}_1 + C_2/\text{ПДК}_2 + \dots C_n/\text{ПДК}_n \leq 1, \quad (2)$$

По лимитирующему признаку вредности ЛПВ токсикологическому и санитарно-токсикологическому в сумме таких веществ 2-го класса опасности – 5: бериллий, молибден, свинец, селен, кадмий. **Индекс загрязнения воды по токсикологическому ЛПВ (ИЗВ_{токс}^{px})** по рыбохозяйственным нормативам составил:

- в *Полновском плёсе* $\text{ИЗВ}_{\text{токс}}^{\text{px}} = 0,00014 / 0,0003 + 0,0004 / 0,001 + 0,00016 / 0,006 + 0,00012 / 0,0016 + 0,00006 / 0,005 = 0,470 + 0,400 + 0,027 + 0,075 + 0,012 = 0,984$;

- в *Городском плёсе* $\text{ИЗВ}_{\text{токс}}^{\text{px}} = 7,540$;

- в *Осташковском плёсе* $\text{ИЗВ}_{\text{токс}}^{\text{px}} = 7,848$.

В *Городском и Осташковском плёсах* качество воды не отвечает требованиям экологического законодательства (табл. 2).

Индекс загрязнения воды (ИЗВ₆^{px}), рассчитанный по рыбохозяйственным нормам (табл. 2), в *Полновском плёсе* – 0,728, что соответствует 2-му классу (табл. 3) качества воды (воды «чистые») в *Городском* – 5,122 (5 класс, воды «грязные») и *Осташковском* – 5,039 (5 класс, воды «грязные»).

Т а б л и ц а 3

Критерии загрязнённости вод по ИЗВ₆

Класс качества вод	Качество вод	Величина ИЗВ ₆
1	Очень чистая	<0,3
2	Чистая	0,3–1
3	Умеренно загрязнённая	1,0–2,5
4	Загрязнённая	2,5–4,0
5	Грязная	4,0–6,0
6	Очень грязная	6,0–10
7	Чрезвычайно грязная	>10

По нашему мнению [9-16], **индекс загрязнения воды полный ИЗВ_{полн}^{px}** не должен включать фиксированное число показателей (6, 7, 8 или больше). В расчёт следует брать все вещества, превышающие ПДК^{px} (БПК и содержание О₂ берется в расчёт во всех случаях), так как, само это число показателей уже отражает неблагоприятное гидрохимическое состояние водоёмов. ИЗВ_{полн}^{px} рассчитывается по формуле 3, полученный результат делится на число показателей. Это позволяет использовать критерии загрязнённости вод по ИЗВ₆ (табл. 3):

$$\text{ИЗВ}_{\text{полн}}^{\text{px}} = (C_1/\text{ПДК}_1 + C_2/\text{ПДК}_2 + \dots C_n/\text{ПДК}_n) / n, \quad (3)$$

n – число ингредиентов превышающих ПДК.

Т а б л и ц а 4

Качество воды в плёсах озера Селигер, концентрация (С) в мг/л, ПДК^{пит}
 воды водоёмов питьевого назначения

Показатели	ПДК ^{пит}	ЛПВ	КО	Полновский плёс		Городской плёс	
				С	С/ПДК	С	С/ПДК
O ₂	4,00	-	-	9,00	0,67 ¹	6,30	0,95 ¹
БПК ₅	2,01	-	-	1,43	0,48 ²	4,34	2,17²
N _{нитрат}	10,17	ст	3	0,02	0,002	0,26	0,026
N _{нитрит}	1,00	ст	2	0,002	0,002	0,040	0,040
N _{аммон}	1,50	орг	4	0,007	0,005	4,75	3,167^x
P _{фосф.}	1,13	орг	3	0,070	0,062 ^x	0,150	0,133
Сульфаты	500	орг	4	0,10	0,0002	4,70	0,009
Хлориды	350	орг	4	1,1	0,003	8,70	0,025
НП	0,30	орг	4	0,01	0,033	0,40	1,333^x
Железо	0,30	орг	3	0,007	0,023	0,030	0,100
Марганец	0,10	орг	3	0,002	0,020	0,002	0,020
Медь	1,00	орг	3	0,002	0,002	0,0036	0,0036
Цинк	1,00	общ	3	0,002	0,002	0,004	0,004
Бериллий	0,0002	ст	1	0,00014	0,700 ^x	0,00015	0,750
Стронций	7,00	ст	2	0,00033	0,00005	0,00054	0,00008
Ванадий	0,10	ст	3	0,00001	0,0001	0,0004	0,004
Кобальт	0,10	ст	2	0,0002	0,002	0,0010	0,010
Хром (Cr ³⁺)	0,50	ст	3	0,00008	0,0002	0,0014	0,0028
Молибден	0,25	ст	2	0,0004	0,0016	0,0017	0,007
Свинец	0,01	ст	2	0,00016	0,016	0,023	2,300^x
Селен	0,01	ст	2	0,00012	0,012	0,0019	0,19
Мышьяк	0,01	ст	1	0,00019	0,019	0,0021	0,21
Кадмий	0,001	ст	2	0,00006	0,060	0,0016	1,600^x
Калий	30,00	ст	2	6,12	0,204 ^x	4,98	0,166
Кальций	30,00	-	-	26,3	0,877 ^x	28,30	0,943
Никель	0,02	ст	2	0,0003	0,015	0,0031	0,155
Фенолы		-	-				
СПАВ		-	-				
ИЗВ ^{пит} _{токс}					1,03165		5,42808
ИЗВ ^{пит} ₆					0,498		1,920
ИЗВ ^{пит} _{полн}				ИЗВ ^{пит} ₂	0,575	ИЗВ ^{пит} ₆	1,920

Продолжение табл. 4.

Показатели	ПДК ^{пит}	ЛПВ	КО	Осташковский плёс	
				С	С/ПДК
O ₂	4,00	-	-	5,70	2,11¹
БПК ₅	2,01	-	-	4,92	2,46²
N _{нитрат}	10,17	ст	3	1,89	0,186

N _{нитрит}	1,00	ст	2	0,050	0,050
N _{аммон}	1,50	орг	4	1,96	1,307^x
P _{фосф.}	1,13	орг	3	0,150	0,133
Сульфаты	500	орг	4	4,30	0,009
Хлориды	350	орг	4	13,3	0,038
НП	0,30	орг	4	0,56	1,867^x
Железо	0,30	орг	3	0,040	0,133
Марганец	0,10	орг	3	0,0028	0,028
Медь	1,00	орг	3	0,0056	0,0056
Цинк	1,00	общ	3	0,021	0,021
Бериллий	0,0002	ст	1	0,00015	0,750
Стронций	7,00	ст	2	0,00076	0,0001
Ванадий	0,10	ст	3	0,0005	0,005
Кобальт	0,10	ст	2	0,0012	0,012
Хром (Cr ³⁺)	0,50	ст	3	0,0013	0,0026
Молибден	0,25	ст	2	0,0018	0,007
Свинец	0,01	ст	2	0,023	2,300^x
Селен	0,01	ст	2	0,0022	0,22
Мышьяк	0,01	ст	1	0,0025	0,25
Кадмий	0,001	ст	2	0,0017	1,700^x
Калий	30,00	ст	2	5,84	0,195
Кальций	30,00	-	-	38,30	1,277
Никель	0,02	ст	2	0,0032	0,160
Фенолы		-	-		
СПАВ		-	-		
ИЗВ ^{пит} _{токс}					5,6441
ИЗВ ^{пит} ₆					1,957
ИЗВ ^{пит} _{полн}				ИЗВ ^{пит} ₇	1,860

Индекс загрязнения полный (ИЗВ^{px}_{полн}) Полновском плесе – 1,050 (3 показателя, 3 класс, воды «умеренно загрязнённые»), в Городском – 3,957 (8 показателей, 4 класс, воды «загрязнённые»), Осташковском – 3,77 (10 показателей, 4 класс, воды «загрязнённые»).

Т а б л и ц а 5
 Качество воды озера Селигер, концентрация (С) в мг/л, ПДК³

Показатели	ПДК ³	ЛПВ	КО	Полновский		Городской	
				С	С/ПДК	С	С/ПДК
O ₂	4,00	-	-	9,00	0,67 ¹	6,30	0,95 ¹
БПК ₅	2,01	-	-	1,43	0,48 ²	4,34	2,17²
N _{нитрат}	9,00	токс	4	0,02	0,002	0,26	0,029
N _{нитрит}	0,02	токс	4	0,002	0,100	0,040	2,000
N _{аммон}	0,40	токс	4	0,007	0,018	4,75	12,179^x

P _{фосф.}	0,20	сан	4	0,070	0,350	0,150	0,750
Сульфаты	100	ст	4	0,10	0,001	4,70	0,047
Хлориды	300	ст	4	1,10	0,004	8,70	0,029
НП	0,05	токс	3	0,01	0,200	0,40	8,000^x
Железо	0,10	токс	4	0,007	0,070	0,030	0,300
Марганец	0,01	ст	4	0,002	0,200	0,002	0,200
Медь	0,001	токс	3	0,002	2,000^x	0,0036	3,600^x
Цинк	0,01	токс	3	0,002	0,200	0,004	0,400
Бериллий	0,0002	ст	1	0,00014	0,700 ^x	0,00015	0,750
Стронций	0,40	токс	3	0,00033	0,0008	0,00054	0,0014
Ванадий	0,001	токс	3	0,00001	0,010	0,0004	0,400
Кобальт	0,01	токс	3	0,0002	0,020	0,0010	0,100
Хром (Cr ³⁺)	0,07	ст	3	0,00008	0,001	0,0014	0,020
Молибден	0,001	токс	2	0,0004	0,400 ^x	0,0017	1,700
Свинец	0,006	токс	2	0,00016	0,027	0,023	3,833^x
Селен	0,0016	токс	2	0,00012	0,075	0,0019	1,187
Мышьяк	0,01	ст	1	0,00019	0,019	0,0021	0,21
Кадмий	0,005	токс	2	0,00006	0,012	0,0016	0,320
Калий	30,00	ст	2	6,12	0,204	4,98	0,166
Кальций	30,00	-	-	26,3	0,877 ^x	28,30	0,943
Никель	0,01	токс	3	0,0003	0,030	0,0031	0,310
Фенолы	0,001	рх	3	0	0	0,0009	0,900
СПАВ	0,5		4	0	0	0,100	0,200
ИЗВ ³ _{токс}					1,437		8,166
ИЗВ ³ ₆					0,855		5,122
ИЗВ ³ _{полн}				ИЗВ ³ ₃	1,050	ИЗВ ³ ₉	3,958

Продолжение табл.5

Показатели	ПДК ⁹	ЛПВ	КО	Осташковский	
				С	С/ПДК
O ₂	4,00	-	-	5,70	2,11¹
БПК ₅	2,01	-	-	4,92	2,46²
N _{нитрат}	9,00	токс	4	1,89	0,210
N _{нитрит}	0,02	токс	4	0,050	2,500
N _{аммон}	0,40	токс	4	1,96	5,030^x
P _{фосф.}	0,20	сан	4	0,150	0,750
Сульфаты	100	ст	4	4,30	0,043
Хлориды	300	ст	4	13,30	0,044
НП	0,05	токс	3	0,56	11,200^x
Железо	0,10	токс	4	0,040	0,400
Марганец	0,01	ст	4	0,0028	0,280

Медь	0,001	токс	3	0,0056	5,600^x
Цинк	0,01	токс	3	0,021	2,100
Бериллий	0,0002	ст	1	0,00015	0,750
Стронций	0,40	токс	3	0,00076	0,0019
Ванадий	0,001	токс	3	0,0005	0,500
Кобальт	0,01	токс	3	0,0012	0,120
Хром (Cr ³⁺)	0,07	ст	3	0,0013	0,019
Молибден	0,001	токс	2	0,0018	1,800
Свинец	0,006	токс	2	0,023	3,833^x
Селен	0,0016	токс	2	0,0022	1,375
Мышьяк	0,01	ст	1	0,0025	0,25
Кадмий	0,005	токс	2	0,0017	0,340
Калий	30,00	ст	2	5,84	0,195
Кальций	30,00	-	-	38,30	1,277
Никель	0,01	токс	3	0,0032	0,320
Фенолы	0,001	рх	3	0,0008	0,800
СПАВ	0,5		4	0,080	0,160
ИЗВ ³ _{токс}					8,543
ИЗВ ³ ₆					5,039
ИЗВ ³ _{полн}				ИЗВ ³ ₁₁	3,571

Оценка качества воды с помощью показателей качества воды водоёмов питьевого назначения. Анализ показал (табл. 4), что в Полновском плёсе содержание почти всех ингредиентов ниже предельно допустимых концентраций. В Городском плёсе превышены ПДК^{пит} по 5 ингредиентам, в Осташковском – по 7.

По ЛПВ санитарно-токсикологическому таких веществ 1–2 класса опасности: азот нитритный, бериллий, стронций, кобальт, молибден, свинец, селен, мышьяк, кадмий, калий, никель. Индекс загрязнения воды по санитарно-токсикологическому ЛПВ (ИЗВ^{нит}_{токс}) составил:

- в Полновском плёсе $ИЗВ^{нит}_{токс} = 0,002 / 1,0 + 0,00014 / 0,0002 + 0,00033 / 7,0 + 0,0002 / 0,1 + 0,0004 / 0,25 + 0,00016 / 0,01 + 0,00012 / 0,01 + 0,00019 / 0,01 + 0,00006 / 0,001 + 6,12 / 30,0 + 0,0003 / 0,02 = 0,002 + 0,700 + 0,00005 + 0,002 + 0,0016 + 0,016 + 0,012 + 0,019 + 0,060 + 0,204 + 0,015 = 1,03165$;

- в Городском плёсе $ИЗВ^{пит}_{токс} = 5,42808$;

- в Осташковском плёсе $ИЗВ^{пит}_{токс} = 5,6441$.

Во всех трёх плёсах качество воды не отвечает требованиям санитарного законодательства.

Индекс загрязнения воды (ИЗВ^{нит}₆), рассчитанный по санитарно-гигиеническим нормам (табл. 5) в Полновском плёсе – 0,498, что соответствует 2-му классу качества воды (воды «чистые») в Городском – 1,920 (3 класс, воды «умеренно грязные»), Осташковском – 1,957 (3

класс, воды «умеренно грязные»).

Индекс загрязнения полный ($IЗВ^{полн}$) в Полновском плёсе – 0,575 (2 показателя, 2 класс, воды «чистые»), в Городском – 1,920 (6 показателей, 3 класс, воды «умеренно загрязнённые»), Осташковском – 1,860 (7 показателей, 3 класс, воды «умеренно загрязнённые»). Во всех трёх плёсах качество воды не отвечает требованиям экологического законодательства.

Нормы рыбохозяйственные более жёсткие, чем гигиенические, поэтому они используются МПР России в качестве **экологических**. Концентрации ПДК_{рх} для рыбохозяйственных водоёмов обычно устанавливаются ниже концентраций ПДК_{пит} для питьевых водоёмов в 2–10 раз (и более), так как учитывается возможность накопления ядовитых веществ в пищевых цепочках человека.

По нашему мнению, для **экологических целей** следует брать наиболее жёсткие нормы, например, ПДК^{рх} азота нитратного 9,0 мг/л, а ПДК^{пит} – 10,17 мг/л, тогда в качестве ПДК^э берётся значение равное рыбохозяйственному нормативу – 9,0 мг/л. Но есть исключения: у бериллия, мышьяка, калия и кальция питьевые нормы более жёсткие, чем рыбохозяйственные, поэтому их следует использовать в качестве экологических нормативов (табл. 4, 5, 7).

По ЛПВ токсикологическому и санитарно-токсикологическому веществ 1–2 класса опасности 7: бериллий, молибден, свинец, селен, мышьяк, кадмий, калий.

Т а б л и ц а 6

Качество воды озера Селигер, концентрация (С) в мг/л,
ПДК^э с учётом фона

Показатели	ПДК ^э	КО	1	2		
			С _{фон}	С _{факт}	С _{факт} -С _{фон}	С/ПДК
O ₂	4,00	-	9,00	6,3	6,3 ¹	0,95¹
БПК ₅	2,01	-	1,43	4,34	2,91 ²	0,97²
N _{нитрат}	9,00	3	0,02	0,26	0,20	0,022
N _{нитрит}	0,02	2	0,002	0,040	0,038	1,900^x
N _{аммон}	0,40	4	0,007	4,75	4,743	11,858
P _{фосф.}	0,2	3	0,070	0,150	0,080	0,400
Сульфаты	100,0	4	0,100	4,700	4,600	0,046
Хлориды	300,0	4	1,100	8,70	7,600	0,025
НП	0,05	4	0,010	0,40	0,390	7,800^x
Железо	0,10	3	0,007	0,030	0,023	0,230
Марганец	0,01	3	0,002	0,002	0	0
Медь	0,001	3	0,002	0,0036	0,0016	1,600
Цинк	0,01	3	0,002	0,004	0,002	0,200
Бериллий	0,0002	1	0,00014	0,00015	0,00001	0,050
Стронций	0,40	2	0,00033	0,00054	0,00021	0,0005
Ванадий	0,001	3	0,00001	0,0004	0,00039	0,390

Кобальт	0,01	2	0,0002	0,0010	0,0008	0,080
Хром (Cr ³⁺)	0,07	3	0,00008	0,0014	0,00132	0,019
Молибден	0,001	2	0,0004	0,0017	0,0013	1,300
Свинец	0,006	2	0,00016	0,023	0,02284	3,807^x
Селен	0,0016	2	0,00012	0,0019	0,00178	1,113
Мышьяк	0,01	1	0,00019	0,0021	0,00191	0,191
Кадмий	0,005	2	0,00006	0,0016	0,00154	0,308
Калий	30,0	2	6,12	4,98	0	0
Кальций	30,0	-	26,3	28,3	2,000	0,067
Никель	0,01	2	0,0003	0,0031	0,0028	0,280
Фенолы	0,001	-	0	0,0009	0,0009	0,0009
СПАВ	0,5	-	0	0,100	0,100	0,100
ИЗВ ³ _{токс}						6,7495
ИЗВ ³ ₆						4,548
ИЗВ ³ _{полн}				ИЗВ ³ ₉		3,478

Примечание: плёсы: 1 – Полновский, 2 – Городской, 3 – Осташковский.
Продолжение табл. 6

Показатели	ПДК ³	КО	3		
			C _{факт}	C _{факт} - C _{фон}	C/ПДК
O ₂	4,00	-	5,70	5,70 ₁	2,11¹
БПК ₅	2,01	-	4,92	3,49 ²	1,745²
N _{нитрат}	9,00	3	1,89	1,87	0,208
N _{нитрит}	0,02	2	0,050	0,048	2,400
N _{аммон}	0,40	4	1,96	1,953	4,883^x
P _{фосф.}	0,2	3	0,150	0,080	0,400
Сульфаты	100,0	4	4,300	4,200	0,042
Хлориды	300,0	4	13,300	12,200	0,041
НП	0,05	4	0,560	0,550	11,000^x
Железо	0,10	3	0,040	0,033	0,330
Марганец	0,01	3	0,0028	0,0008	0,080
Медь	0,001	3	0,0056	0,0036	3,600^x
Цинк	0,01	3	0,021	0,019	1,900
Бериллий	0,0002	1	0,00015	0,00001	0,050
Стронций	0,40	2	0,00076	0,00043	0,001
Ванадий	0,001	3	0,0005	0,00049	0,490
Кобальт	0,01	2	0,0012	0,001	0,100
Хром (Cr ³⁺)	0,07	3	0,0013	0,00122	0,017
Молибден	0,001	2	0,0018	0,0014	1,400
Свинец	0,006	2	0,023	0,02284	3,807^x
Селен	0,0016	2	0,0022	0,00208	1,300
Мышьяк	0,01	1	0,0025	0,00231	0,231
Кадмий	0,005	2	0,0017	0,00164	0,328
Калий	30,0	2	5,84	0	0
Кальций	30,0	-	38,3	12,000	0,400
Никель	0,01	2	0,0032	0,0029	0,290

Фенолы	0,001	-	0,0008	0,0008	0,800
СПАВ	0,5	-	0,080	0,080	0,160
ИЗВ ³ _{токс}					7,217
ИЗВ ³ ₆					4,524
ИЗВ ³ _{полн}			ИЗВ ³ ₁₀		3,414

Индекс загрязнения воды по токсикологическому и санитарно-токсикологическому ЛПВ (ИЗВ^{ПНТ}_{токс}) по экологическим нормативам составил: в *Полновском плёсе* ИЗВ³_{токс} – 1,437; в *Городском плёсе* ИЗВ³_{токс} – 8,166; в *Осташковском плёсе* ИЗВ³_{токс} – 8,543. Индекс загрязнения воды экологический, рассчитанный по 6 показателям ИЗВ³₆ (табл. 5), в *Полновском плёсе* – 0,855 (2 класс, воды «чистые»), в *Городском* – 5,122 (6 класс, воды «грязные»), *Осташковском* – 5,039 (6 класс, воды «грязные»).

Индекс загрязнения экологический полный (ИЗВ³_{полн}) в *Полновском плёсе* – 1,050 (3 класс, воды «умеренно загрязнённые»), в *Городском* – 3,958 (9 показателей, 4 класс, воды «загрязнённые»), *Осташковском* – 3,571 (11 показателей, 4 класс, воды «загрязнённые»).

Выводы. Для оценки экологического состояния поверхностных вод нами в качестве фона было выбрано содержание ЗВ в *Полновском плёсе*, в котором наблюдается превышение ПДК³ лишь по меди в 2 раза. Индекс загрязнения воды экологический (ИЗВ³₆), рассчитанный по экологическим (самым жёстким) нормам с учётом фона (табл. 8), в *Полновском плёсе* – 0,855, что соответствует 2 классу качества воды (воды «чистые»). По-нашему мнению, это природная чистая вода, присутствующие химические соединения являются необходимыми для жизнедеятельности водной экосистемы. ИЗВ в этом случае лучше называть **индексом экологического состояния (ИЭС)**. ИЗВ³₆ в *Городском* – 4,548 (5 класс, воды «грязные»), *Осташковском* – 4,524 (5 класс, воды «грязные»).

ИЗВ³_{токс} с учётом фона в *Городском плёсе* – 6,7495 (6 класс, воды «очень грязные»), в *Осташковском плесе* – 7,217 (6 класс, воды «очень грязные»).

ИЗВ³_{полн} с учётом фона в *Городском плёсе* – 3,478 (4 класс, воды «загрязнённые»), в *Осташковском плёсе* – 3,414 (4 класс, воды «загрязнённые»).

Как мы видим, экологическая оценка состояния поверхностных вод по самым жёстким экологическим нормативам с учётом фоновое загрязнения, позволила оценить состояние воды южных плёсов озера Селигер как крайне неблагоприятное.

Список литературы

1. ГН 2.1.5.1093-02. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.
2. Правила охраны поверхностных вод (типовые положения). – М.: Госкомприроды СССР, 1991. – 94 с.
3. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. N 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».
4. Цыганов А.А. Природные особенности и антропогенное воздействие на Оршинско-Петровскую группу озер // Изменение природных комплексов Нечернозёмной зоны под воздействием хозяйственной деятельности человека. – Калинин. 1982. – С. 118–125.
5. Цыганов А.А. Ландшафтно-лимнологическое районирование Калининской области // Районирование возобновляемых природных ресурсов. – М.: Московский филиал ГО СССР. 1983. – С. 19–32.
6. Цыганов А.А. Ландшафтно-лимнологическое районирование Калининской области и мелиорация земель. Дисс. на соискание уч. степ. канд. геогр. наук. Рукопись. – М.: МГУ, 1985. – 287 с.
7. Цыганов А.А. Шмидеберг Н.А. Изменение химического состава вод озёрных систем Калининской области под влиянием человеческой деятельности // Исследование природных комплексов в целях их охраны и рационального использования. – Калинин: КГУ, 1986. – С. 37–43.
8. Цыганов А.А. Опыт геохимической оценки состояния озерных ландшафтов Калининской области // Проблемы рационального использования лесных ресурсов и охраны природы Верхневолжья: Тез. докл. науч.-практ. конф. – Калинин: КГУ, 1989. – С. 76–83.
9. Цыганов А.А., Шмидеберг И.А. Изменение химического состава вод озёрных систем Тверской области под влиянием человеческой деятельности // Географические исследования регионального природно-ресурсного потенциала. – Саранск: Мордовский госуниверситет, 1991. – С. 99–104.
10. Цыганов А.А. Оценка качественного состава поверхностных вод в условиях г. Твери // Изменение природных комплексов в результате в результате антропогенной деятельности. – Тверь: ТГУ, 1993. – С. 45–52.
Цыганов А.А. Гидрохимическое состояние озера Селигер // Региональные геохимические исследования / Сб. научн. тр. – Тверь: ТвГУ, 2005. – С. 26–43.
11. Цыганов А.А., А.Г. Жеренков А.Г. Система озера Селигер // Экологические и социальные проблемы Северо-Запада России и стран Балтийского региона: Мат. общественно-научной конф. с

международным участием, 24-25 ноября 2011 г. – Псков: Изд. ПсковГУ ООО «ЛОГОС Плюс», 2011. – С. 82–83.

12. Цыганов А.А., А.Г. Жеренков А.Г. Физическая география озер системы Селигер // Экологические и социальные проблемы Северо-Запада России и стран Балтийского региона: Мат. общественно-научной конф. с международным участием, 24–25 ноября 2011 г. – Псков: Изд. ПсковГУ ООО «ЛОГОС Плюс», 2011. – С. 84–93.

13. Цыганов А.А. Экологическое состояние островов озера Селигер. Монография. – Берлин: Lambert Academic Publishing, 2013 – 141 с.

14. Цыганов А.А. Очерки по физической географии Твери: Монография. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2015. – 185 с. [Электронная версия]. URL: <http://rid.tversu.ru>.

15. Цыганов А.А., Жеренков А.Г. Эколога-экономическая оценка поступления загрязняющих веществ в озеро Селигер Осташковского района тверской области// Муниципальные образования современных регионов: проблемы исследования, развития и управления в условиях геополитической и политической нестабильности: Материалы 1-ой международной научно-практической конференции 14–15 апреля 2016 г. – Воронеж; ВГУ. – С. 95–97.

16. Шмидеберг Н.А. Сравнительная характеристика озер Калининской области // География и природные ресурсы, 1984, № 4. – С.48–53.

HYDROCHEMICAL CONDITION OF LAKE SELIGER

A.A. Tsyganov

Tver State University, Tver

The hydrochemical characteristics of Seliger Lake. Methods of hydrochemical assessment includes an analysis of water quality on the excess over fisheries regulations and sanitary and hygienic standards. Proposed by the author environmental regulations and pollution indexes allowed to give a detailed analysis of surface water three – the deepest of seats of Seliger Lake.

Keywords: *hydrology, hydrochemistry, ecology, lake Seliger.*

Об авторе:

ЦЫГАНОВ Анатолий Александрович – кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и геоэкологии ТвГУ, e-mail: Anatol_Tsyganov@mail.ru.