

УДК 502.62: 504.455: 556: 574.5

## Современное состояние антропогенного воздействия на озеро Байкал

**Е.А. Зилов\***

*Научно-исследовательский институт биологии  
Иркутский государственный университет  
Россия, 664003, Иркутск-3, а/я 24*

Received 28.11.2012, received in revised form 12.08.2013, accepted 11.11.2013

*В статье охарактеризованы пять исторических стадий антропогенного воздействия на оз. Байкал. Описано физическое воздействие на озеро в результате постройки Иркутской ГЭС. Подробно рассмотрено химическое загрязнение озера в результате судоходства, туристической активности, со стоками и смывами из населенных пунктов, сточными водами и выбросами в атмосферу Байкальского ЦБК, водами, поступающими с водосборного бассейна, атмосферным переносом загрязнителей. Наибольшая часть (>83 %) загрязняющих веществ приносится водами притоков, на втором месте (>15 %) – поступления из атмосферы, третье место (<1 %) занимают загрязнения от БЦБК, на четвертом – загрязнения от других предприятий и населенных пунктов по берегам озера, затем в порядке убывания значения идут туризм и судоходство (всё вместе – около 0.5 %). Загрязнители в порядке снижения объемов их поступления в озеро можно расположить в ряд: минеральные соли, взвешенные вещества, растворенные органические вещества, сульфаты, минеральные формы азота и фосфора, нефтепродукты, серосодержащие органические соединения, тяжелые металлы и синтетические поверхностно-активные вещества.*

*Ключевые слова: озеро Байкал, антропогенное воздействие, уровень воды, химическое загрязнение.*

### **Введение**

Байкал – величайшее озеро планеты, которое содержит пятую часть мирового запаса поверхностных пресных вод или половину всей доступной человечеству питьевой воды. Экосистема Байкала имеет множество уникальных особенностей, делающих его

одним из наиболее выдающихся природных объектов. Это самое старое и самое глубокое пресное озеро в мире, единственное, где вода насыщена кислородом до наибольших глубин. Байкал является уникальной природной лабораторией, с помощью которой можно исследовать возникновение, поддер-

жание и эволюцию биоразнообразия, несмешиваемость эндемичного и космополитного видовых комплексов, многие проблемы экологии, гидрометеорологии, озероведения, палеолимнологии, геоморфологии и других наук. Природа предоставляет нам такой инструмент, как оз. Байкал, для решения особенно актуальных сегодня для человечества проблем чистой пресной воды и глобальных климатических изменений.

*Проблема чистой пресной воды.* С точки зрения проблемы чистой воды Байкал интересен в двух аспектах. Во-первых, как гигантское хранилище пресной воды. По объему (23 000 км<sup>3</sup>) оз. Байкал равно всем Великим Североамериканским озерам вместе, но чистота его вод несопоставима с качеством вод американских озер, еще не до конца оправившихся от пережитых ими в 1960–1970-е гг. катаклизмов. Во-вторых, оз. Байкал является не только хранилищем, но и гигантской фабрикой чистой питьевой воды наивысшего достижимого в природных условиях качества, так как именно функционирование экологической системы озера обеспечивает воспроизводство и поддержание такого качества воды. Исследование механизмов организации экосистемы оз. Байкал даст нам понимание процессов формирования качества воды в уникальном водоеме. Кроме того, изучение функционирования экосистемы Байкала должно облегчить понимание механизмов формирования качества воды и управление ими в других озерах планеты. Гигантские масштабы протекающих в оз. Байкал биогеохимических трансформаций облегчают изучение этих процессов. Последние (хотя и в меньших масштабах) идут во всей приарктической области Северного полушария (Канада, Скандинавия, Север России), в которой расположено подавляющее большинство доступных ресурсов чистой пресной воды.

*Проблема глобальных климатических изменений.* Озеро Байкал необходимо исследовать с точки зрения глобальных изменений потому, что огромные размеры делают его весьма консервативной системой и в большинстве случаев изменения в экосистеме Байкала происходят достаточно медленно, но, раз начавшись, они могут оказаться необратимыми. Необходимо следить за возможными отклонениями функционирования экосистемы от нормы, которые могут привести к нарушению ее стабильности и губительным для качества воды последствиям. Воздействию глобального потепления на отдельные показатели экосистемы оз. Байкал посвящен ряд разрозненных исследований, главным образом иностранных авторов (например, Bradbury et al., 1994; Livingstone, 1999; Yoshioka et al., 2002; Mackay, 2007). Последние работы сотрудников НИИ биологии Иркутского государственного университета, проведенные в соавторстве с коллегами из Германии и Чехии (Fietz et al., 2005; Straskrabova et al., 2005), США (Hampton et al., 2008; Moore et al., 2009), выявили, что с 1946 г. среднегодовая температура воды повысилась на 1 °С на поверхности и на 0.2 °С на глубине 50 м. При этом отмечено существенное увеличение биомассы летнего фитопланктона, происходят некоторые изменения состава зоопланктона. По-настоящему комплексное изучение реакции экосистемы оз. Байкал как биологического целого на изменения климатообразующих факторов только начинается.

Именно поэтому важна систематизация знаний того, как мы воздействуем на экосистему оз. Байкал. Последние обзорные работы на эту тему были опубликованы десятилетия назад (Кожова, Бейм, 1993; Kozhova et al., 1998; Kozhova, Silow, 1998, 2001; Silow, 2000; Грачев, 2002), а недавний обзор (Зилов, Орлов, 2011) содержит материалы до 2008 г.

Настоящий аналитический обзор выполнен в основном на материалах официальных Государственных докладов «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране...» (Государственный доклад ..., 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2011), поэтому краски в сведениях об антропогенном воздействии заведомо не могут быть сгущены.

### **Стадии воздействия человека на Байкал**

Заметное антропогенное воздействие на оз. Байкал практически началось на памяти еще живущих поколений. Можно выделить следующие стадии антропогенного воздействия на озеро:

1. **Доиндустриальная стадия (до второй половины XIX в.).** Населявшие байкальскую Сибирь народы оказывали на озеро минимальное влияние до появления русских в 1643 г. Но и после этого воздействие сводилось к рыболовству, лесным пожарам, сведению лесов на топливо, строительные материалы и для высвобождения земель под пашню, распахке земель.
2. **Ранняя индустриальная стадия (конец XIX – середина XX в.).** Происходит строительство железных дорог, промышленных предприятий, портов на озере, развивается судоходство. Развивается сельское хозяйство и промышленность, растет население.
3. **Стадия ускорения индустриализации (середина XX в.).** Усиливается рыболовство в годы Великой Отечественной войны, строятся плотины Иркутской ГЭС и Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат.
4. **Стадия интенсификации экономики региона (1970 – 1990-е гг.).** Интенсивное использование минеральных

удобрений, пестицидов (запрещенное в бассейне озера в 1980-е годы), загрязнение реки Селенга, активное транспортное использование озера, включая сплав леса, разработку месторождений полезных ископаемых, строительство железнодорожного узла Байкало-Амурской магистрали, рост численности населения региона и начало массового туризма.

5. **Новейшая стадия.** Снижение уровня загрязнения в 1990-е гг. в связи со спадом экономической активности, сопряженное с ослаблением контроля качества окружающей среды. Вспышка неорганизованного туризма, строительный бум на берегах озера, массовое развитие водного транспорта. Вслед за этим происходит усиление нормативно-правовой базы охраны озера, включение оз. Байкал в список Всемирного наследия ЮНЕСКО в 1996 г. Сейчас экологическая ситуация стабилизировалась, но до кардинального решения проблем охраны природы озера еще далеко.

### **Физическое воздействие на озеро**

В 1956-1959 гг. на Ангаре, в 65 км от озера, была построена плотина Иркутской ГЭС. В результате уровень воды в озере поднялся почти на 1 м (рис. 1), амплитуда его колебаний возросла ( $455.61 \pm 0.15$  м до 1959 г.,  $456.41 \pm 0.25$  м после), под воду ушли 600 км<sup>2</sup> береговой зоны озера, 1200 км<sup>2</sup> прибрежных земель стали часто затапливаться, как результат – ежегодно в Байкал смывается около 500 тыс. т эрозийного материала.

Частые резкие колебания уровня воды не могут не сказываться на состоянии соров<sup>1</sup> (очень важных для омуля как места обитания его молоди). В конце 1950-х гг. из-за подъе-

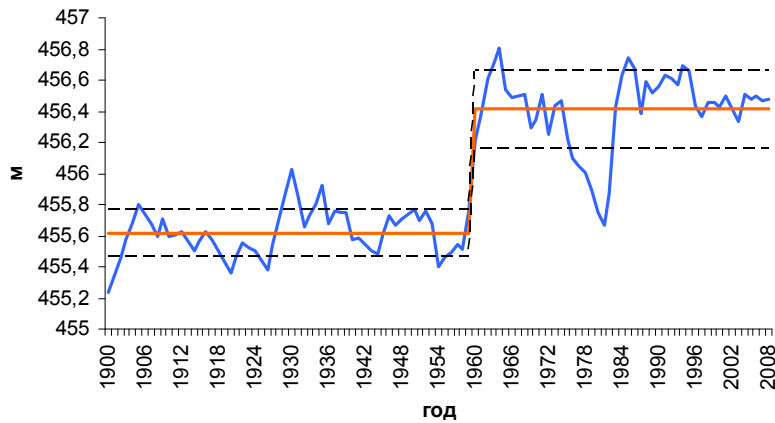


Рис. 1. Колебания уровня воды в оз. Байкал (м над уровнем моря) в 1900–2010 гг. Красная линия – среднелетнее среднее до строительства плотины ГЭС и после, пунктирные линии – среднеквадратичные отклонения уровня от него (по данным Государственных докладов «О состоянии озера Байкал...»)

ма уровня воды погибло множество кладок бычка-желтокрылки, икра которого может развиваться только на строго определенной глубине. Это был серьезный удар по популяции омуля, питающегося мальками желтокрылки.

Строительство каскада гигантских водохранилищ на р. Ангаре в 1950 – 1970-е г. сказалось и на климатическом режиме региона. За последний век в окрестностях оз. Байкал отмечен рост температуры воздуха на 1.2 °С, причем значительная доля роста температуры пришлось на последние 40 лет. Температура поверхностного слоя воды возросла на 1.8 °С по сравнению с 1970-ми гг., ледостав наступает позже в среднем на 10 дней, вскрытие ото льда – раньше на 15 дней, средняя толщина льда уменьшилась на 9 см (Шимараев и др., 2002; Шимараев, 2008; Казановский, Зилов, 2010). Изменилась и ветровая обстановка (Циценко, Зилов, 2010).

### Химическое загрязнение озера

Очевидно, что судоходство не может не быть источником химического загрязнения. В начале XX в. на Байкале было 15 пароходов,

а в начале XXI в. – около 300 судов и 8000 единиц маломерного флота, загрязняющих Байкал нефтепродуктами, теплоходы и суда на подводных крыльях – подсланевыми водами и хозяйственными стоками. Вследствие судоходства в Байкал ежегодно поступает более 250 т нефтепродуктов, 30 т фекальной органики, 8 т растворимых форм азота и 3 т фосфора, 2.5 тыс. т мусора.

Следующий по очевидности источник химического загрязнения – туризм. Ежегодно на Байкале бывает около 1/5–2 млн только зарегистрированных туристов, в результате чего образуется около 780 тыс. т мусора, 6 тыс. т (сухого веса) фекального органического вещества, 1.5 тыс. т растворимых форм азота и 0.3 тыс. т фосфора.

Из населенных пунктов и от предприятий, расположенных на берегах, ежегодно поступает более 60 млн т сточных вод.

Притчей во языцех стал Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат (БЦБК). Складывается впечатление, что он если и не был построен специально для отвлечения внимания от других, более серьезных проблем загрязнения Байкала, то сохраняется

Таблица 1. Поступление отдельных загрязнителей в оз. Байкал с очищенными сточными водами БЦБК (т год<sup>-1</sup>) в 2004-2010 гг. (без периода с октября 2008 г. по апрель 2010 г.)

Показатель	Среднее ± стандартное отклонение
Всего вод, млн т	460.00 ± 7.91
БПК <sub>полное</sub>	306.86 ± 45.48
Взвешенные вещества	107.90 ± 18.71
Нефтепродукты	1.56 ± 0.50
Лигнин сульфатный	245.90 ± 64.69
Формальдегид	0.50 ± 0.42
Сульфатное мыло	51.79 ± 17.94
Метанол	3.53 ± 1.62
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	19.18 ± 15.21
СПАВ	2.17 ± 0.37
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5 181.61 ± 966.43
Скипидар	3.99 ± 1.60
Cl <sup>-</sup>	2 959.37 ± 1000.55
Алюминий	2.24 ± 0.72
Фенолы	0.28 ± 0.03
ХПК	1 382.40 ± 392.59

именно для этого. Решение о строительстве БЦБК было принято в 1956 г., пущен он был в 1966 г. БЦБК в течение 42 лет сбрасывал в озеро ежегодно от 34 до 69 млн т год<sup>-1</sup>, в среднем 46.5 млн т год<sup>-1</sup> (в 2005–2008 гг. – 29–44 млн т год<sup>-1</sup>) очищенных сточных вод. В сентябре 2008 г. комбинат был переведен на замкнутую систему водооборота. Ввиду неработоспособности этой системы производство пришлось остановить уже через месяц. БЦБК возобновил выпуск белой целлюлозы в 2010 г. Сведения о поступлении отдельных загрязнителей в оз. Байкал приведены в табл. 1, о выбросах в атмосферу – в табл. 2.

Для того чтобы реально сопоставить роль БЦБК с другими антропогенными источниками загрязнений, приведем данные, позволяющие сопоставить БЦБК по общим объемам сбрасываемых вод и выбросам в атмосферу с другими серьезными источниками загрязнений озера (табл. 3, 4). Хорошо видно,

что если по объему выбросов в атмосферу БЦБК несопоставим с другими серьезными источниками, то по сбросам сточных вод стоит практически на одном уровне с таким крупным городом, как Улан-Удэ.

От упоминания Улан-Удэ мы переходим к проблеме водосборного бассейна. В Байкал попадают не только воды от расположенных на берегах озера населенных пунктов и предприятий, смывы с берегов, но и бытовые, сельскохозяйственные и промышленные стоки с его водосборного бассейна площадью, по оценкам разных авторов, от 540 до 590 тыс. км<sup>2</sup>. На этой территории живут примерно 1 300 000 человек, содержащих 1 860 000 коров, 1 348 000 лошадей, 1 164 000 овец и 232 000 коз, не считая свиней и домашней птицы. Совокупное ежегодное производство ими фекальной органики составляет около 500 тыс. т (сухого веса), растворимых форм азота – 125 тыс. т, фосфора – 25 тыс. т.

Таблица 2. Поступление загрязняющих веществ в атмосферу с выбросами БЦБК (т год<sup>-1</sup>) в 2004-2010 гг. (без периода с октября 2008 г. по апрель 2010 г.)

Показатель	Среднее ± стандартное отклонение
Взвешенные вещества	2447.50 ± 695.91
Газы, в т.ч.	3546.17 ± 635.17
SO <sub>2</sub>	1805.54 ± 374.41
NO <sub>x</sub>	1303.35 ± 158.99
H <sub>2</sub> S	36.34 ± 19.80
Метилмеркаптан	48.31 ± 10.95
CH <sub>3</sub> OH	1.52 ± 0.68
Фенол	0.11 ± 0.09
Итого	5993.79 ± 1218.03

Таблица 3. Общие сбросы сточных вод (млн т год<sup>-1</sup>) крупных антропогенных источников загрязнений в 2003-2010 гг.

Источник	Среднее ± стандартное отклонение
Улан-Удэ	39.17 ± 5.36
Северобайкальск	1.69 ± 0.39
Слюдянка	1.45 ± 0.41
Байкальский ЦБК	37.51 ± 7.74

Таблица 4. Общие выбросы в атмосферу (тыс. т год<sup>-1</sup>) крупных антропогенных источников загрязнений на Байкальской природной территории в 2003-2010 гг.

Источник	Среднее ± стандартное отклонение
Ангарск	168.18 ± 33.43
Улан-Удэ	32.38 ± 3.72
Иркутск	51.32 ± 7.47
Усолье-Сибирское	30.71 ± 4.11
Шелехов	29.41 ± 1.98
Байкальский ЦБК	4.92 ± 2.05

В водосборном бассейне озера около 9 тыс. км<sup>2</sup> распаханых земель, с которых вымывается 118 тыс. т азота, 39 тыс. т фосфора, 79 тыс. т калия в год. В бассейне озера расположены такие крупные промышленные центры, как города Улан-Батор, Улан-Удэ, Гусиноозерск, много горнодобывающих комплексов Монголии и Бурятии. В табл. 5 при-

ведены характеристики очищенных сточных вод г. Улан-Удэ.

Самым большим источником загрязнения является р. Селенга, приносящая в озеро половину всего поверхностного притока воды и занимающая наибольший водосборный бассейн (табл. 6). Динамика концентраций основных загрязняющих веществ в створах

Таблица 5. Характеристика очищенных сточных вод г. Улан-Удэ (2003-2010 гг.)

Компонент	Концентрация, мг л <sup>-1</sup>	Годовой сброс, т
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	45	1840±226
Cl <sup>-</sup>	129	5274±648
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4.6	188±23
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.4	57±7
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	8.1	331±41
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	3.9	159±20
Cd <sup>2+</sup>	0.42±0.03	17±2.1
Sb <sup>3+</sup>	0.005±0.0002	0.20±0.02
Hg <sup>2+</sup>	0.005±0.001	0.20±0.03
<i>U</i> (в разных формах)	0.015±0.002	0.61±0.08
Органическое вещество	8.0–17.0	511±63
Хлорорганические соединения	0.03–0.15	3.8±0.5
Нефтепродукты	0.24–11.28	235±29
Фенольные соединения	0.04–4.56	94±12

Таблица 6. Концентрации аллохтонных веществ в р. Селенга при впадении в Байкал и ежегодный принос ею веществ в озеро (1999–2010 гг.)

Показатель	Среднее значение, мг/л	Суммарный принос за год, тыс. т
Минерализация	140.88 ± 6.56	4226.50 ± 196.66
Хлориды	2.35 ± 0.30	70.63 ± 8.99
Сульфаты	12.38 ± 1.30	371.25 ± 39.08
Взвешенные вещества	31.26 ± 10.49	937.75 ± 314.65
Кремний	4.76 ± 0.96	142.93 ± 28.66
Железо общее	0.57 ± 0.19	17.15 ± 5.77
Медь	3.18 ± 1.16	95.45 ± 34.80
Цинк	6.64 ± 5.22	199.09 ± 156.71
СПАВ	0.01 ± 0.01	0.42 ± 0.24
БПК <sub>5</sub>	1.63 ± 0.14	49.03 ± 4.29
ХПК	15.33 ± 1.61	460.00 ± 48.38
Азот аммонийный	0.03 ± 0.02	0.91 ± 0.59
Азот нитритный	0.00 ± 0.00	0.07 ± 0.03
Азот нитратный	0.07 ± 0.02	1.97 ± 0.47
Азот суммарный	0.10 ± 0.03	2.93 ± 0.98
Фосфор минеральный	0.00 ± 0.00	0.12 ± 0.06
Фосфор органический	0.01 ± 0.00	0.34 ± 0.14
Фосфор полифосфат	0.00 ± 0.00	0.14 ± 0.11
Фосфор общий	0.02 ± 0.01	0.61 ± 0.17
Нефтепродукты	0.03 ± 0.01	0.78 ± 0.17
Смолы и асфальтены	0.01 ± 0.00	0.20 ± 0.10
Летучие фенолы	0.01 ± 0.01	0.32 ± 0.29

рек, приносящих наибольшее их количество в озеро, приведена на рис. 2–5.

Необходимо помнить, что даже полный запрет всякой хозяйственной деятельности в бассейне оз. Байкал не приведет к прекращению его загрязнения. Большую часть года температура водного тела выше температуры окружающих территорий, поэтому воздух над озером прогревается и поднимается вверх. Место поднимающихся

воздушных масс занимается воздухом с прилегающих пространств. Притекший воздух, в свою очередь, выполняет поворот на 90° вверх, но переносимые им частицы этот маневр осуществить не могут и выпадают на поверхность воды или льда. Данные по динамике количества выпадающих в разных частях озера загрязнителей приведены на рис. 6. Обращают на себя внимание пики 2008-2009 гг. (при том, что БЦБК

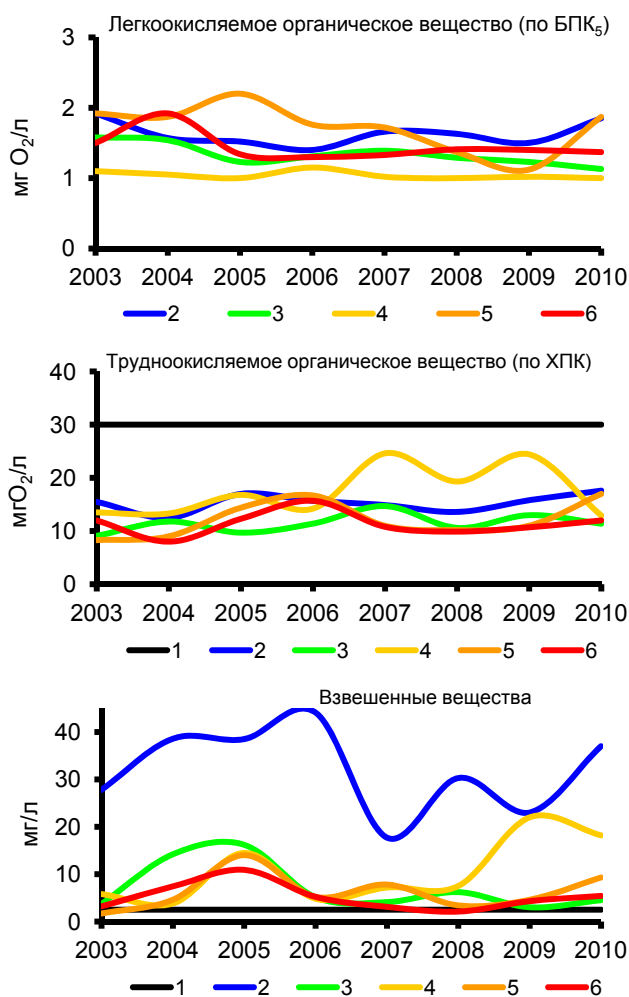


Рис. 2. Содержание нетоксичных аллохтонных веществ в створах притоков оз. Байкал. Для легкоокисляемых органических веществ, определяемых по биологическому потреблению кислорода (за пять суток – BPK<sub>5</sub>), допустимое содержание в сточных водах при их сбросе в оз. Байкал – 8.6 мг O<sub>2</sub>/л; 1 – допустимое содержание веществ в сточных водах при их сбросе в оз. Байкал; 2 – р. Селенга; 3 – р. Верхняя Ангара; 4 – р. Баргузин; 5 – р. Турка; 6 – р. Тья (по данным Государственных докладов «О состоянии озера Байкал...»)



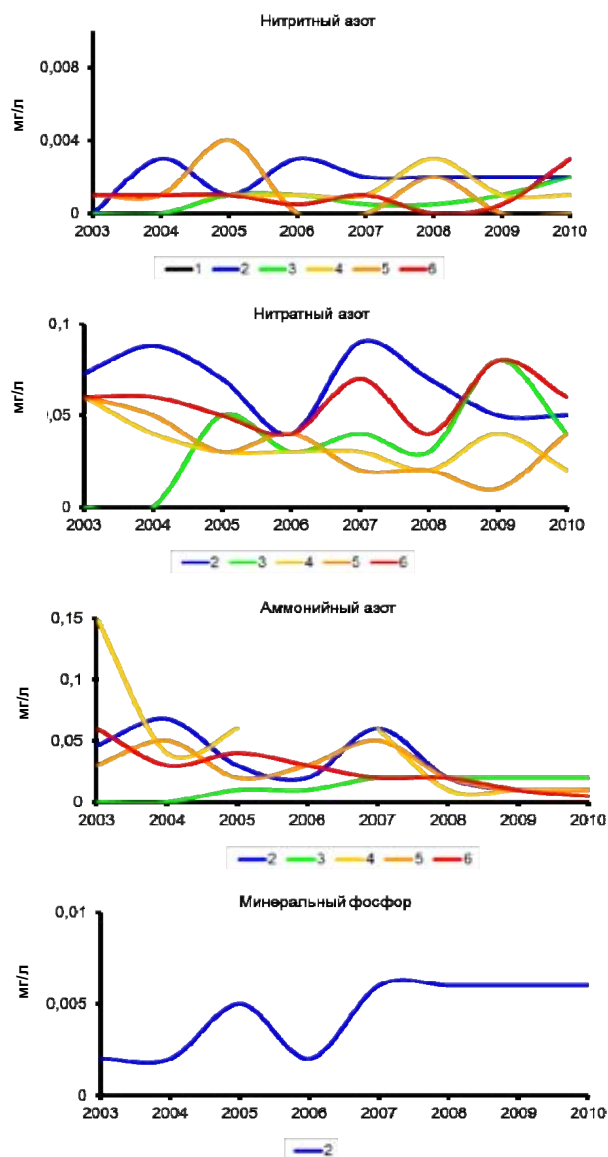


Рис. 3. Содержание биогенных аллохтонных веществ в створах притоков оз. Байкал. Для аммонийного азота допустимое содержание в сточных водах при их сбросе в оз. Байкал – 0,3 мг/л, для нитратного азота – 0,05 мг/л, для минерального фосфора – 1 мг/л; 1 – допустимое содержание веществ в сточных водах при их сбросе в оз. Байкал; 2 – р. Селенга; 3 – р. Верхняя Ангара; 4 – р. Баргузин; 5 – р. Турка; 6 – р. Тья (по данным Государственных докладов «О состоянии озера Байкал...»)

в этот период не работал). Вероятно, это связано с активным переносом загрязнений северо-западным ветром вдоль долины р. Ангары.

Теперь мы можем увидеть общую картину поступления загрязнителей в озеро по отдельным веществам и в целом (табл. 7). Наи-

большая часть (>83 %) загрязняющих веществ приносится водами притоков, на втором месте (>15 %) – поступления из атмосферы, третье место (<1 %) занимают загрязнения от БЦБК, на четвертом месте – загрязнения от других предприятий и населенных пунктов по берегам озера, затем в порядке убывания значения

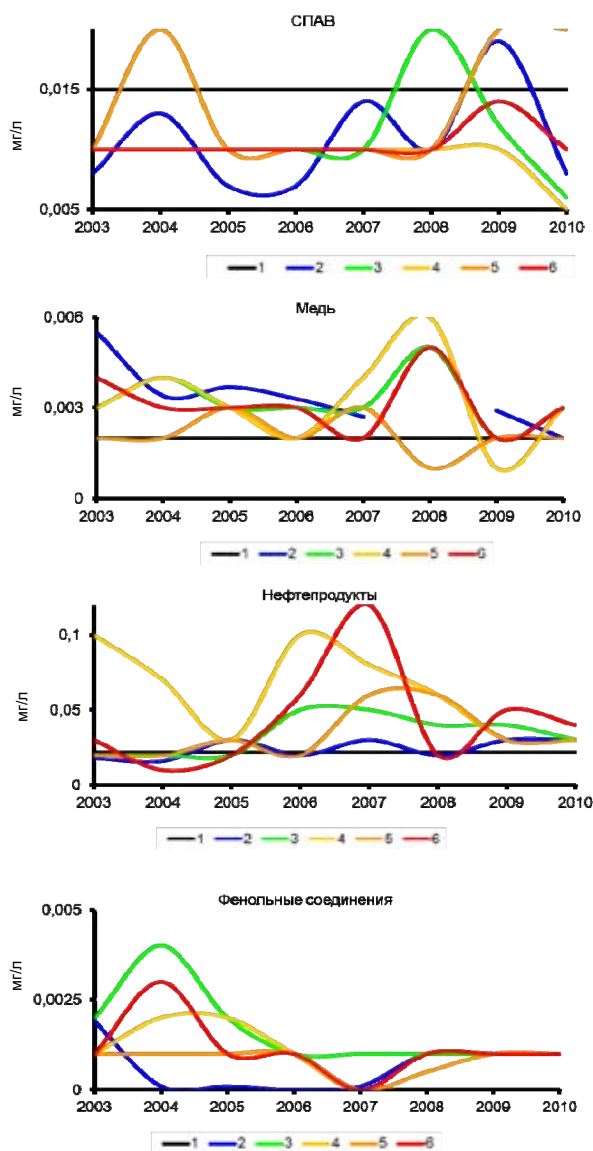


Рис. 4. Содержание токсичных аллохтонных веществ в створах притоков оз. Байкал. Для фенольных соединений допустимое содержание в сточных водах при их сбросе в оз. Байкал – 0,05 мг/л: 1 – допустимое содержание веществ в сточных водах при их сбросе в озеро Байкал; 2 – р. Селенга; 3 – р. Верхняя Ангара; 4 – р. Баргузин; 5 – р. Турка; 6 – р. Тья (по данным Государственных докладов «О состоянии озера Байкал...»)

идут туризм и судоходство (всё вместе – около 0.5 %).

Загрязнители в порядке снижения объемов их поступления в озеро можно расположить в ряд следующим образом. На первом месте, даже за вычетом ряда веществ, учтенных нами отдельно, стоят *минеральные соли*,

на втором – *взвешенные вещества*, на третьем месте, также даже за вычетом ряда веществ, учитываемых отдельно, – *растворенные органические вещества*, затем следуют *сульфаты, труднорастворимые и легкоразложимые органические вещества*, определяемые по ХПК и БПК. Все эти вещества в концентрациях, в

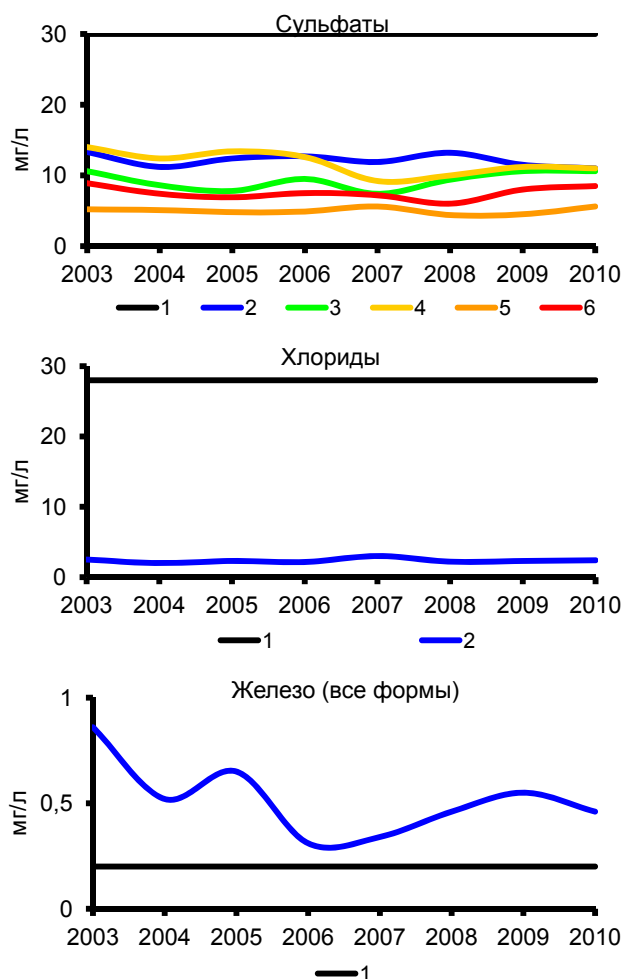


Рис. 5. Содержание минеральных веществ в створах притоков оз. Байкал: 1 – допустимое содержание веществ в сточных водах при их сбросе в оз. Байкал; 2 – р. Селенга; 3 – р. Верхняя Ангара; 4 – р. Баргузин; 5 – р. Турка; 6 – р. Тья (по данным Государственных докладов «О состоянии озера Байкал...»)

которых они поступают в озеро, не оказывают прямого токсического действия, но органические вещества способны вызывать эвтрофирование, а взвешенные вещества – изменение светового режима в толще воды и, оседая на дно, – нарушения кислородного режима донных сообществ.

Оставшиеся 0.36 % загрязняющих веществ представлены (в порядке убывания количеств) минеральными формами азота и фосфора, нефтепродуктами, серосодержащими органическими соединениями, тяжелыми металлами и синтетическими

поверхностно-активными веществами. Минеральные формы азота и фосфора являются агентами эвтрофирования, хотя и могут угнетать подледный фитопланктон (Зилов, 2010), остальные перечисленные вещества токсичны, а тяжелые металлы и синтетические вещества накапливаются в пищевых цепях. На рис. 7 приведена многолетняя динамика ряда гидрохимических показателей для разных районов Байкала. Видно, что они в настоящее время находятся в пределах допустимых значений колебаний для озера.

Таблица 7. Поступление загрязняющих веществ в оз. Байкал (тыс. т год<sup>-1</sup>) из разных источников в 1999–2010 гг.

Загрязнитель	Источник						
	БЦБК	Судоходство	Туризм	Стоки и смывы населенных пунктов на берегах	Главные притоки	Атмосферные выпадения	
Минерализация	40.7 ± 1	0.011 ± 0.002	2 ± 0.3	5.26 ± 0.63	4304 ± 763	413 ± 47	
В том числе:							
сульфаты	26 ± 0.1			1.23 ± 0.15	380 ± 67	63.6 ± 19	
минеральный азот		0.008 ± 0.001	1.5 ± 0.3	0.384 ± 0.0461	3.3 ± 1.1	17.9 ± 3.8	
минеральный фосфор		0.003 ± 0.0005	0.3 ± 0.08	0.106 ± 0.013	0.46 ± 0.17	0.7 ± 0.1	
тяжелые металлы				0.017 ± 0.002	0.43 ± 0.36	0.037 ± 0.005	
Растворимые органические вещества	5.6 ± 0.1	0.28 ± 0.011	6 ± 0.9	5 ± 0.6	1260 ± 480	271 ± 86	
В том числе:							
легкоразложимые органические вещества	0.5 ± 0.02	0.03 ± 0.001	6 ± 0.9	3.54 ± 0.42	54 ± 7.1		
летучие фенольные соединения	0.002 ± 0.001			0.003 ± 0.001	0.07 ± 0.07	0.015 ± 0.001	
серосодержащие соединения	0.012 ± 0.001				0.12 ± 0.06		
нефтепродукты	0.002 ± 0.0001	0.25 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.16 ± 0.02	0.93 ± 0.38	0.198 ± 0.049	
трудноразложимые органические вещества	5 ± 0.4				387 ± 102		
СПАВ			0.01 ± 0.001	0.04 ± 0.01	0.37 ± 0.15		
Взвешенные вещества	0.673 ± 32	2.5 ± 0.1	780 ± 112	10.1 ± 1.2	818 ± 370	550 ± 234	
% от общего поступления	0.91	0.04	0.20	0.30	83.34	15.22	

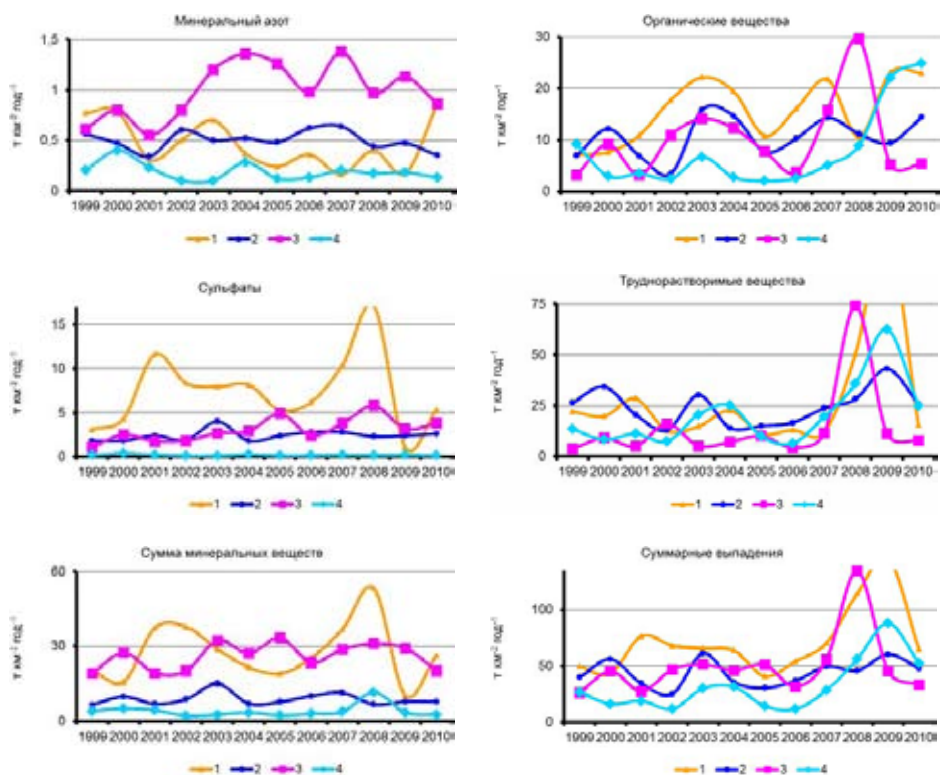


Рис. 6. Выпадения из атмосферы ( $t\ km^{-2}\ год^{-1}$ ) в районе БСБК (1), в истоке Ангары (2), в районе Южно-Байкальского промышленного узла (3), о. Ольхон (4) (по данным Государственных докладов «О состоянии озера Байкал...»)

## Заключение

### Прогнозы и действительность

Последствия химического загрязнения для озера были рассчитаны с помощью математической модели, учитывающей как поступление биогенных элементов, нетоксичных и токсичных органических веществ, солей тяжелых металлов (на уровне конца 1980 – начала 1990-х гг., когда промышленность и сельское хозяйство региона были мощнее, чем в настоящее время), так и процессы самоочищения, оцененные по результатам натурных экспериментов, выполненных НИИ биологии ИГУ. Согласно предсказаниям модели (Silow et al., 1995) следует ожидать снижения биомассы подледного и рост биомассы летне-осеннего комплексов фитопланктона,

некоторое уменьшение биомассы подледного и увеличение биомассы летне-осеннего зоопланктона. Эти предсказания подтвердились наблюдениями 1990–2000-х гг.

Вместе с тем подъем температуры в очень многих озерах Земли вызвал уменьшение доли крупноклеточного фитопланктона, рост биомассы мелкоклеточных водорослей, усиление развития теплолюбивых видов зоопланктона (клароцеры, циклопы) (Зилов, 2009). Все эти процессы отмечаются на оз. Байкал (Изместьева и др., 2006; Izmet'syeva, Silow, 2010; Pislegina, Silow, 2010; Shimaraeva et al., 2010; Silow, 2010; Izmet'syeva et al., 2011).

Предсказываемые последствия химического загрязнения озера и ожидаемые последствия климатических изменений практически

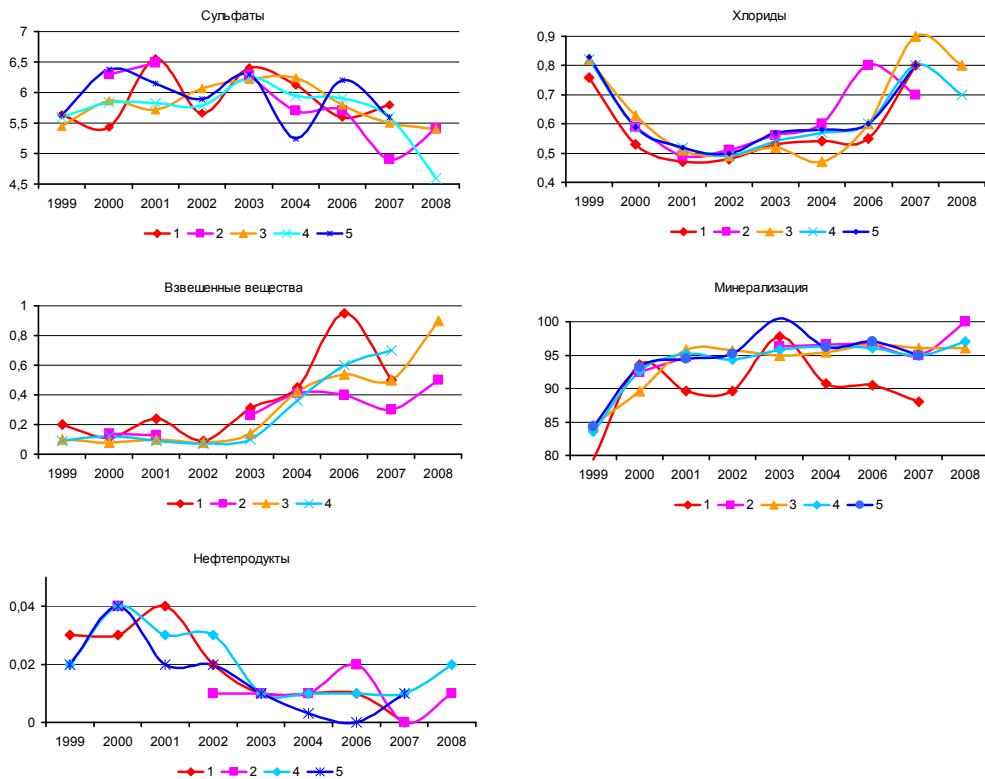


Рис. 7. Гидрохимические показатели ( $\text{мг л}^{-1}$ ) в районе БАМ (1), Южно-Байкальского промышленного узла (2), БЦБК (3), вдоль продольного разреза (4) и (5) – в истоке Ангары (по данным Государственных докладов «О состоянии озера Байкал...»)

неотличимы. И в том, и в другом случае ожидается рост доли мелкоклеточного фитопланктона, усиление развития летнего фитопланктона, кладоцер и циклопов. Наблюдаемая картина трендов планктона в какой-то мере соответствует этому. Имеющийся у нас сегодня запас знаний не позволяет однозначно отдать предпочтение одному из вариантов объяснения наблюдаемой картины – является ли это последствием локального и регионально-антропогенного воздействия в виде загрязнения, регионального и глобального воздействия изменений климата или же служит лишь проявлением долговременных естественных автоколебательных процессов. В то же время следует отметить, что Байкал, по-видимому,

вполне успешно справляется с текущим уровнем антропогенной нагрузки благодаря своему высокому самоочистительному потенциалу, определяемому его морфометрией (объем, глубины, соотношение площади водного зеркала и глубины), гидрофизическим и гидрохимическим особенностям (насыщенность воды кислородом до максимальных глубин, исходно низкие концентрации компонентов гидрохимического состава), функционированию его биоты.

Несмотря на имеющееся загрязнение, вода оз. Байкал остается самой чистой природной озерной водой в мире и пригодна для питья даже в районах локального загрязнения.

<sup>1</sup> Закрытые мелководные заливы, как правило, не более 7 м глубиной.

## Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2003 году». (2004) Иркутск: Изд-во «Федеральное государственное унитарное научно-производственное геологическое предприятие «Иркутскгеофизика», 327 с.
2. Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2004 году». (2005) Иркутск: Изд-во «Федеральное государственное унитарное научно-производственное геологическое предприятие «Иркутскгеофизика», 350 с.
3. Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2005 году». (2006) Иркутск: Изд-во «Федеральное государственное унитарное научно-производственное геологическое предприятие «Иркутскгеофизика», 410 с.
4. Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2006 году». (2007) Иркутск: Сибирский филиал ФГУНПП «Росгеолфонд», 420 с.
5. Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2007 году». (2008) Иркутск: Сибирский филиал ФГУНПП «Росгеолфонд», 443 с.
6. Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2008 году». (2009) Иркутск: Сибирский филиал ФГУНПП «Росгеолфонд», 455 с.
7. Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2010 году». (2011) Иркутск: Сибирский филиал ФГУНПП «Росгеолфонд», 411 с.
8. Грачев М. А. (2002) О современном состоянии экологической системы озера Байкал. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 156 с.
9. Зилов Е. А. (2009) Современная лимноэкология и смена парадигм? Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология» 2(1): 35–39.
10. Зилов Е. А. (2010) Анализ и прогноз изменений водных экосистем на основе модельных экспериментов. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 231 с.
11. Зилов Е. А., Орлов П. А. (2011) Современное состояние химического загрязнения озера Байкал: Источники и агенты. Вестник ИрГСХА 45: 32-37.
12. Измestьева Л. Р., Мур М. В., Хэмптон С. Э., Зилов Е. А. (2006) Сезонная динамика массовых родов фитопланктона в озере Байкал. Известия Самарского НЦ РАН 8(3): 191–196.
13. Казановский А. С., Зилов Е. А. (2010) Динамика температуры воды озера Байкал на точке № 1 за 1948-2002 гг. В: Международная научная конференция и Международная школа для молодых ученых «Проблемы экологии»: Чтения памяти профессора М.М. Кожова. Тезисы докладов и материалы. Иркутск: Изд-во Иркутского гос. ун-та, с. 68.
14. Кожова О. М., Бейм А. М. (1993) Экологический мониторинг Байкала. М.: Экология, 352 с.
15. Шимараев М. Н. (2008) О влиянии Северо-Атлантического колебания (NAO) на ледово-термические процессы на Байкале. Доклады Академии Наук 423(3): 397-400.
16. Шимараев М. Н., Куимова Л. Н., Синюкович В. Н., Цехановский В. В. (2002) Климат и гидрологические процессы в бассейне оз. Байкал в XX столетии. Метеорология и гидрология (3): 71-77.
17. Циценко М. Е., Зилов Е. А. (2010) Влияние скорости и повторяемости ветров различных направлений на биомассу байкальского фитопланктона по данным с 1990 по 2008 года. В: Международная научная конференция и Международная школа для молодых ученых

- «Проблемы экологии»: Чтения памяти профессора М. М. Кожова. Тезисы докладов и материалы. Иркутск: Изд-во Иркутского гос. ун-та, с. 109.
18. Bradbury J. P., Bezrukova Y. V., Chernyaeva G. P., Colman S. M., Khursevich G., King J. W., Likhoshway Y. V. (1994) A synthesis of post-glacial diatom records from Lake Baikal. *Journal of Paleolimnology* 10: 213–252.
  19. Fietz S., Kobanova G., Izmet'seva L., Nicklisch A. (2005) Regional, vertical and seasonal distribution of phytoplankton and photosynthetic pigments in Lake Baikal. *J. Plankton Res.* 27: 793-810.
  20. Hampton S. E., Izmet'seva L. R., Moore M. V., Katz S. L., Dennis B., Silow E. A. (2008) Sixty years of environmental change in the world's largest freshwater lake – Lake Baikal, Siberia. *Global Change Biology* 14: 1947-1958.
  21. Izmet'seva L., Silow E. (2010) Long-term dynamics of summer community of Baikal phytoplankton and climate change. In: 13th World Lake Papers. Shiga: ILEC, 4 p. [http://wldb.ilec.or.jp/data/ilec/WLC13\\_Papers/others/9.pdf](http://wldb.ilec.or.jp/data/ilec/WLC13_Papers/others/9.pdf)
  22. Izmet'seva L. R., Silow E. A., Litchman E. (2011) Long-Term Dynamics of Lake Baikal Pelagic Phytoplankton under Climate Change. *Inland Water Biology* 4(3): 301–307.
  23. Kozhova O. M., Pavlov B. K., Silow E. A. (1998) Economic use and anthropogenic pressure. In: Kozhova O.M., Izmet'seva L.R. (eds) *Lake Baikal. Biodiversity and evolution*. Leiden: Backhuys Publishers, p. 279-292.
  24. Kozhova O. M., Silow E. A. (2001) Principles and Results of Ecological Monitoring of Lake Baikal. In: *Partnerships for Sustainable Life in Lake Environments*, Vol. 5. Otsu, Japan, p. 532–536.
  25. Kozhova O. M., Silow E. A. (1998) The current problems of Lake Baikal ecosystem conservation. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 3: 19–33.
  26. Livingstone D. M. (1999) Ice break-up on Southern Lake Baikal and its relationship to local and regional air temperatures in Siberia and to North Atlantic Oscillation. *Limnol. Oceanogr.* 44 (6): 1486–1497.
  27. Mackay A. W. (2007) The paleoclimatology of Lake Baikal: A diatom synthesis and perspectives. *Earth-Science Reviews* 82: 181–215.
  28. Moore M. V., Hampton S. E., Izmet'seva L. R., Silow E. A., Peshkova E. V., Pavlov B. K. (2009) Climate Change and the World's “Sacred Sea”—Lake Baikal, Siberia. *BioScience* 59 (5): 405–417.
  29. Pislegina E., Silow E. (2010) Long-term dynamics of Baikal zooplankton and climate change. In: 13th World Lake Conference Papers. Shiga: ILEC, 4 p. [http://wldb.ilec.or.jp/data/ilec/WLC13\\_Papers/others/10.pdf](http://wldb.ilec.or.jp/data/ilec/WLC13_Papers/others/10.pdf)
  30. Shimaraeva S., Izmet'seva L., Silow E. (2010) Long-term dynamics of under-ice community of Baikal phytoplankton and climate change. In: 13th World Lake Conference Papers. Shiga: ILEC, 4 p. [http://wldb.ilec.or.jp/data/ilec/WLC13\\_Papers/others/13.pdf](http://wldb.ilec.or.jp/data/ilec/WLC13_Papers/others/13.pdf)
  31. Silow E. (2010) Lake Baikal as possible sentinel of the Climate Change. In: 13th World Lake Papers. Shiga: ILEC, 4 p. [http://wldb.ilec.or.jp/data/ilec/WLC13\\_Papers/S2/s2-6.pdf](http://wldb.ilec.or.jp/data/ilec/WLC13_Papers/S2/s2-6.pdf)
  32. Silow E. A., Gurman V. J., Stom D. J., Rosenraukh D. M., Baturin V. I. (1995) Mathematical models of lake Baikal ecosystem. *Ecological Modelling* 82: 27-39.



33. Silow E. A. (2000) The present state of the Lake Baikal contamination. In: Ecotechnology in Environmental Protection and Fresh Water Lake Management. Taejon: Pae Chai University, p. 105-110.
34. Straškrabova V., Izmest'yeva L. R., Maksimova E. A., Fietz S., Nedoma J., Borovec J., Kobanova G. I., Shchetinina E. V., Pislegina E. V. (2005) Primary production and microbial activity in the euphotic zone of Lake Baikal (Southern Basin) during late winter. *Global and Planetary Change* 46: 57-73.
35. Yoshioka T., Ueda S., Khodzher T. V., Bashenkaeva N., Korovyakova I. V., Sorokovikova L. M., Gorbunova I. (2002) Distribution of dissolved organic carbon in Lake Baikal and its watershed. *Limnology* 3: 159–168.

## **The Present State of Human Impact on Lake Baikal**

**Eugene A. Silow**

*Scientific Research Institute of Biology  
Irkutsk State University  
POBox 24, Irkutsk 3, 664003, Russia*

---

*Five stages of human impact on the lake Baikal are characterised. Physical influence on the lake caused by Irkutsk power plant is described. Chemical pollution due to navigation, tourism, settlements' waste water, waste discharges to water and atmosphere by Baikal Pulp and Paper Plant, waters coming from watershed, atmospheric transfer are viewed in details. The most of contaminants (>83 %) is coming with the waters of tributaries, the second role belongs to atmospheric precipitation (>15 %), the third place is occupied by pollution from Baikal Pulp and Paper Plant (<1 %), the rest – contaminations from other enterprises and settlements at shores, tourism and navigation (together about 0.5 %). Pollutants according to decrease in volume of their input can be ranged as mineral salts, particulate matter, dissolved organic matter, sulphates, mineral forms of nitrogen and phosphorus, oil products, sulphur containing organic substances, heavy metals and synthetic surfactants.*

*Keywords: lake Baikal, anthropogenic impact, water level, chemical pollution.*

---