

### 1.1.1.3. Донные отложения

(ФГБУ «Гидрохимический институт» Росгидромета, г. Ростов-на-Дону)

#### Состояние донных отложений в районе выпуска сточных вод Байкальского ЦБК

В августе 2011 года в районе выпуска сточных вод Байкальского ЦБК была проведена одна съемка качественного состояния донных отложений и грунтовой воды на 30 станциях отбора проб на полигоне и на 6 станциях в фоновом участке, расположенном в авандельте р. Безымянная. Всего в 2011 году было проанализировано 72 пробы донных отложений и грунтовой воды. В 2010 году было выполнено две съемки донных отложений и грунтовой воды в июле и октябре, было отобрано за каждую съемку, соответственно, по 30 проб на полигоне и по 6 проб в фоновом участке, проанализировано 144 пробы донных отложений и грунтовой воды.

Площадь исследуемого полигона в августе 2011 года составила 15,2 км<sup>2</sup> (в 2010 г. – 15,2 км<sup>2</sup>). Станции отбора проб в 2011 году находились на глубинах 16-300 м (в 2010 г. на глубинах 15-350 м).

Гидрохимические характеристики грунтовой воды являются остро динамичными и их значения могут меняться в течение нескольких недель, в то время, как геохимические характеристики более стабильны во времени. Несоблюдение режима временных шагов мониторинга на озере сильно осложняет объективную сторону контроля состояния озерной экосистемы.

*Важнейшим показателем качественного состава **грунтовой воды** является содержание растворенного кислорода, который в последние годы остается относительно высоким. За многолетний период наблюдений с 1995 г. отмечена определенная зависимость в распределении растворенного кислорода от глубины отбора проб и, соответственно, от литологического типа донных отложений, времени отбора проб, места отбора проб на полигоне. С увеличением глубины отбора проб в зоне развития тонких мелкоалевритовых и глинистых илов (глубины более 100 м) содержание растворенного кислорода уменьшается по сравнению с пробами, отобранными на глубинах менее 100 м, где развиты разнотерные пески, приблизительно в 1,1-1,2 раза. Содержание растворенного кислорода в подледный период больше, чем в осенний период в 1,1-1,2 раза.*

При сравнении среднего содержания растворенного кислорода в грунтовой воде в 2011 году с данными за 2010 год отчетливо проявляется тенденция усиления влияния сточных вод БЦБК на озеро Байкал, связанное с возобновлением работы комбината. В целом, содержание растворенного кислорода уменьшилось от 10,9 мг/дм<sup>3</sup> в 2010 году до 9,8 мг/дм<sup>3</sup> в 2011 году. Среднее содержание растворенного кислорода в пробах грунтовой воды в фоновом районе в 2011 году составило 11,0 мг/дм<sup>3</sup> (в 2010 г. - 10,3 мг/дм<sup>3</sup>). В 2010 году была зафиксирована только одна проба грунтовой воды, в которой содержание растворенного кислорода составляло 8,11 мг/дм<sup>3</sup>, что ниже предельного уровня содержания растворенного кислорода в воде южного Байкала (9,0 мг/дм<sup>3</sup>). В августе 2011 года содержание растворенного кислорода ниже 9,0 мг/дм<sup>3</sup> было отмечено уже в 6 пробах грунтовой воды, в которых размах концентраций составлял 3,6-8,9 мг/дм<sup>3</sup>, средняя концентрация составила 7,4 мг/дм<sup>3</sup>. В одной пробе, отобранной в августе 2011 года, была зафиксирована концентрация растворенного кислорода ниже предельной нормы содержания растворенного кислорода в сточных водах комбината, сбрасываемых в озеро (6,0 мг/дм<sup>3</sup>). При сравнении с октябрём 2010 года можно отметить ухудшение в кислородном режиме грунтовой воды в районе комбината (таблица 1.1.1.3.1).

**Гидрохимическая характеристика грунтовой воды  
в районе выпуска сточных вод БЦБК, мг/дм<sup>3</sup>**  
(числитель - пределы, знаменатель - среднее значение)

Показатели	2008 г.	2010 г.		2011 г.	Изменение по средним за год (%)
	сентябрь	июль	октябрь	август	август 2011 г./ октябрь 2010 г.
Растворенный кислород, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	<u>4,00-10,9</u> 9,19	<u>10,5-11,8</u> 11,3	<u>8,11-11,4</u> 10,6	<u>3,6-11,4</u> 9,8	-7,5
Минеральный азот	<u>0,05-0,21</u> 0,07	<u>0-0,22</u> 0,04	<u>0,003-0,022</u> 0,04	<u>0,003-0,17</u> 0,02	-50
Фосфатный фосфор	<u>0-0,034</u> 0,005	<u>0-0,032</u> 0,005	<u>0,002-0,028</u> 0,008	<u>0-0,039</u> 0,009	12,5
Органические кислоты летучие	<u>0-1,64</u> 0,69	<u>0,41-3,13</u> 1,58	<u>0,36-4,14</u> 1,91	<u>0-7,2</u> 2,8	47
Органические кислоты нелетучие	<u>0-16,5</u> 1,27	<u>0,20-2,86</u> 1,45	<u>0,24-2,69</u> 0,95	<u>0,20-4,00</u> 1,5	58
Летучие фенолы	<u>0-0,003</u> 0,001	<u>0-0,003</u> 0,001	<u>0-0,002</u> <0,001	<u>0-0,003</u> 0,001	-

В 2011 году отмечено резкое увеличение среднего содержания летучих органических кислот по сравнению с данными за 2010 год в 1,6 раза до 2,8 мг/дм<sup>3</sup> (в 2010 г. - 1,74 мг/дм<sup>3</sup>). Таких высоких содержаний летучих органических кислот на полигоне не наблюдалось с 2004 г. (2,5 мг/дм<sup>3</sup>). В фоновом районе среднее содержание летучих органических кислот в 2011 году составляло 1,7 мг/дм<sup>3</sup>. Среднемноголетнее содержание летучих органических кислот за последние 10 лет наблюдений равнялось 1,3 мг/дм<sup>3</sup>.

Для нелетучих органических кислот в 2011 году также отмечается рост средних содержаний - до 1,5 мг/дм<sup>3</sup> (в 2010 г. - 1,2 мг/дм<sup>3</sup>), при фоновом содержании 1,0 мг/дм<sup>3</sup>. Однако, среднемноголетнее значение нелетучих органических кислот за последние 10 лет наблюдений на полигоне не превышало 1,6 мг/дм<sup>3</sup>.

Наиболее представительным показателем качественного состояния **донных отложений** (таблица 1.1.1.3.2) в районе выпуска сточных вод комбината по-прежнему является содержание серы сульфидной. В августе 2011 года отмечен резкий рост среднего содержания серы сульфидной – 0,007 % (в 2010 г. - 0,003 %). В фоновом районе полигона среднее содержание серы сульфидной составило 0,006 %. В 2011 году в 18 пробах донных отложений из 30 проб среднее содержание серы сульфидной было больше 0,005 %, последнее является фоновым уровнем содержания серы сульфидной для донных отложений южного Байкала, в 2010 году это отмечено только в 6 пробах. Среднее содержание серы сульфидной в пробах донных отложений, превышающее фоновое значение, в 2011 году составляло 0,010 %, в 2010 году - 0,009 %. В современном распределении растворенного кислорода и содержания сульфидной серы в донных отложениях в 2011 году проявляется характерная обратная зависимость на уровне -0,3, что может свидетельствовать о взаимосвязи этих двух процессов.

В 2011 году, по сравнению с 2010 годом, отмечен рост средних содержаний легкогидролизуемых углеводов, трудногидролизуемых углеводов и легниногумосового комплекса - в 1,4 (0,62 %); 1,3 (0,44 %) и 1,1 (0,96 %) раза, соответственно. При этом следует отметить, что легкогидролизуемые и трудногидролизуемые углеводы, отмеченные в 2011 году, превышают среднемноголетние наблюдения (данные с 2001 г.) в 1,5 раза и 1,3 раза, соответственно.

**Геохимическая характеристика донных отложений  
в районе выпуска сточных вод БЦБК, %**  
(числитель - пределы, знаменатель - среднее значение)

Показатели	2008 г.	2010 г.		2011 г.	Изменение по средним за год (%)
	сентябрь	июль	октябрь	август	август 2011 г./ октябрь 2010 г.
Органический азот	<u>0,01-0,31</u> 0,13	<u>0,04-0,31</u> 0,16	<u>0,02-0,27</u> 0,12	<u>0,10-0,26</u> 0,14	17
Органический углерод	<u>0,2-2,8</u> 1,5	<u>0,3-3,4</u> 1,6	<u>0,2-2,6</u> 1,3	<u>0,2-2,73</u> 1,6	23
Сульфидная сера	<u>0-0,019</u> 0,005	<u>0,001-0,017</u> 0,004	<u>0-0,010</u> 0,003	<u>0,002-0,015</u> 0,007	133
ЛГУ (Легко гидролизующие углеводы)	<u>0,11-0,85</u> 0,42	<u>0,11-0,93</u> 0,52	<u>0,09-0,58</u> 0,36	<u>0,14-1,03</u> 0,62	72
ТГУ (Трудно гидролизующие углеводы)	<u>0-0,69</u> 0,23	<u>0,07-0,71</u> 0,35	<u>0,09-0,65</u> 0,34	<u>0,09-0,91</u> 0,44	29
ЛГК (Лигнино-гумусовый комплекс)	<u>0,46-1,68</u> 0,98	<u>0,58-1,29</u> 1,0	<u>0,12-1,17</u> 0,71	<u>0,53-1,81</u> 0,96	35
ТГУ+ЛГК / Общая сумма органических веществ	<u>14-81</u> 25	<u>15-38</u> 23	<u>9-48</u> 24	<u>99-63</u> 31	29

В составе других стандартных характеристик донных отложений (органический азот, органический углерод) в 2011 году, в сравнении с данными 2010 года, определенных изменений не произошло. Содержания органического азота и органического углерода не превышали значений характерных для донных отложений Южного Байкала.

Размеры зоны загрязнения на полигоне, рассчитанные по суммарному показателю - превышение средних содержаний ингредиентов контроля грунтовой воды и донных отложений на глубинах до 350 м, составляли в 2008 году - 5,2 км<sup>2</sup>, в 2010 году - 4,3 км<sup>2</sup>, в 2011 году - 5,4 км<sup>2</sup>.

В августе 2011 года, впервые для всего полигона, были проведены наблюдения за **содержанием хлорорганических пестицидов (ХОП) в донных отложениях в районе сброса сточных вод комбината**. Ранее в 2005 и 2006 годах были проведены единичные исследования на 5 идентичных станциях полигона и на 2 фоновых станциях. В августе 2011 года перечень ХОП, определяемых в донных отложениях, был расширен и включал: полихлорированные бифенилы (ПХБ) (конгенеры: 18, 28+31, 52, 84+101, 118+149, 138, 153, 180), гексахлорбензол (ГХБ), альфа-, бета -, гамма-гексохлорциклогексан (ГХЦГ), Альдрин, Дигидрогептахлор, Диэлдрин, дихлордифенилдихлорэтилен (ДДЭ), дихлордифенилдихлорэтан (ДДД), дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ).

Следует заметить, что ХОП, как большинство ксенобиотиков, малорастворимы в воде, адсорбируясь на органо-минеральном взвешенном веществе, они осаждаются из водной толщи и депонируются в донных отложениях. Распределение ХОП по дну водоема определяется схемой литолого-геохимической дифференциации осадочного материала в крупных водоемах. Согласно этой схеме, максимальные содержания глинистой фракции в донных отложениях, а также адсорбируемые последней тяжелые металлы, хлорорганические пестициды, полициклические ароматические углеводороды и др. обычно приурочены к глубоководным районам водоема, где осаждаются тонкие частицы (наиболее сильные адсорбенты), в этих участка дна развиты мелкоалевритовые и глинистые илы, а минимальные концентрации, как глинистой фракции, так и адсорбируемых ею различных ксенобиотиков отмечается в разнотерных песках.

Распределение ПХБ в донных отложениях носит относительно повсеместный характер, они были обнаружены в 94 % отобранных проб. Размах величин концентраций ПХБ в донных отложениях в августе 2011 года составил <0,0001– 0,0526 мг/кг сухого осадка, при среднем содержании - 0,0072 мг/кг сухого осадка. На фоновом участке ПХБ были обнаружены на всех станциях при размахе величин 0,0008-0,0014 мг/кг, среднее содержание 0,0010 мг/кг. Содержание канцерогена на полигоне превышает фоновые величины в 7 раз.

Максимальное содержание ПХБ - 0,0526 мг/кг было обнаружено в юго-западной прибрежной части полигона, на глубине 18 м в пробе, отобранной в разнородных песках. Это район гидрогеологической разгрузки подземного техногенного водного купола загрязненных вод, образовавшегося под основанием территории комбината (район энерготехнологической ТЭЦ, аварийный осадконакопитель) за счет инфильтрации (утечки) последних в подстилающие горные породы. Данный постоянный диффузионный источник создает устойчивые уровни загрязнения в прибрежной части озера. В 2005 и 2006 годах в этом участке полигона, также были обнаружены максимальные содержания соединений ПХБ - 0,023 мг/кг и 0,018 мг/кг, соответственно, при фоновых содержаниях - 0,004 мг/кг. В распределении ПХБ в донных отложениях полигона в 2005, 2006 и 2011 годах четко прослеживается приуроченность максимальных содержаний ПХБ к области развития илистых отложений, а минимальных содержаний к песчаным отложениям. В представленном расчете средних содержаний ПХБ в илистых и песчаных отложениях проба с максимальным содержанием ПХБ для полигона в 0,0526 мг/кг, расположенная в разнородных песках не учитывалась, как специфически не характерная в литогеохимической дифференциации осадочного материала по дну озера. Содержание ПХБ в 2011 году в песках составило 0,0044 мг/кг, в илистых отложениях - 0,0065 мг/кг. Можно отметить, что на полигоне произошло относительное снижение содержаний ПХБ в донных отложениях, отмеченное в 2011 году при сравнении с данными 2005 года (0,011 мг/кг, фон-0,004 мг/кг) и 2006 года (0,009 мг/кг, фон 0,004 мг/кг) так, как в 2011 году анализировалось 30 проб донных отложений, а в 2005 и 2006 годах по 5 проб. Среди 8 конгенов полихлорированных бифенилов, отмеченных на полигоне в 2011 году, наиболее часто (в более 50 % всех проб) встречались конгены: 84+101, 118+149, 138.

Донные отложения на полигоне озера по-прежнему остаются мощной накопительной системой для ПХБ. Следует заметить, что более 95 % полихлорированных бифенилов используются в различном промышленном производстве.

ГХБ был обнаружен в 87 % анализируемых проб. Среднее содержание пестицида составило 0,0005 мг/кг, при размахе величин <0,0001-0,0042 мг/кг. В фоновом районе ГХБ был обнаружен только в 2 пробах из 6, с одинаковой концентрацией в 0,0001 мг/кг. В целом по полигону пестицид распределяется равномерно. В песках его содержание составляет 0,0006 мг/кг, в илах 0,0004 мг/кг. Если не брать во внимание пробу, отобранную непосредственно в районе выпуска сточных вод комбината с максимальным содержанием ГХБ - 0,0042 мг/кг, то рост содержаний пестицида происходит по мере увеличения содержания пелитовой фракции в донных отложениях. Самые низкие содержания ГХБ отмечаются на глубинах менее 100 м в песках - 0,0003 мг/кг, в илистых отложениях – 0,0004 мг/кг. При сравнении средних значений, полученных в 2011 году, с данными 2005 года, где среднее содержание ГХБ в 5 пробах составило 0,0002 мг/кг (фон 0,0001 мг/кг), и 2006 года, где в 5 пробах среднее содержание составило 0,0001 мг/кг (фон 0,0001 мг/кг), можно говорить о некотором относительном увеличении содержания ГХБ в донных отложениях полигона, так как в 2011 году анализировались 30 проб, а в 2005 и 2006 годах по 5 проб.

Альфа-ГХЦГ обнаружен в 38 % анализируемых проб донных отложений на полигоне, среднее содержание пестицида составляло 0,0001 мг/кг, при размахе величин 0,0001-0,0003 мг/кг. Известно, что альфа-ГХЦГ наиболее стабилен в водной среде, а линдан разлагается под влиянием микробиологического и др. факторов, трансформируясь

в тот же альфа-ГХЦГ. Повышенное содержание альфа-ГХЦГ по сравнению с гамма – ГХЦГ указывает на давнее поступление пестицида на полигон. В фоновом районе пестицид не зафиксирован. При сравнении средних значений пестицида (30 анализируемых проб), полученных в 2011 году, с данными 2005 года, где среднее содержание пестицида в 5 пробах составило 0,0013 мг/кг (фон -0,0022 мг/кг) и 2006 года в 5 пробах среднее содержание составило 0,0009 мг/кг (фон -0,0015 мг/кг) можно отметить, что увеличение содержания альфа-ГХЦГ в донных отложениях не обнаружено.

ДДЭ обнаружен в 77 % анализируемых проб со средним содержанием 0,0004 мг/кг при размахе величин <0,0001-0,0017 мг/кг. В фоновом районе из 6 анализируемых проб ДДЭ обнаружен в 1 пробе с содержанием 0,0002 мг/кг. При сравнении последних определений со средними значениями по 5 пробам, полученным в 2005 году (0,0007 мг/кг, фон- 0,0009) и в 2006 году (0,0008 мг/кг, фон-0,0009 мг/кг), увеличение содержания ДДЭ не наблюдается.

ДДД обнаружен в 22 % отобранных проб со средним содержанием 0,0001 мг/кг при размахе величин <0,0001-0,0007 мг/кг. В фоновом районе ДДД не обнаружен. В 2005 и 2006 годах ДДД в пробах донных отложений также не обнаружен.

В двух пробах обнаружен ДДТ - 0,0006 мг/кг и 0,0009 мг/кг (фон - не обнаружено); в 2005 и 2006 годах содержание было - 0,001 мг/кг (фон - 0,002 мг/кг). Бетта-ГХЦГ был обнаружен в 1 пробе - 0,0004 мг/кг (фон - не обнаружено), гамма-ГХЦГ в 1 пробе - 0,0002 мг/кг (фон - не обнаружено), Альдрин нигде не обнаружен, дигидрогептахлор в 2 пробах - 0,0002 мг/кг и 0,0003 мг/кг (фон - не обнаружено), Диэлдрин нигде не обнаружен.

**Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) в донных отложениях и в зообентосе определялись в районе сброса сточных вод БЦБК.** Основным индикаторным показателем загрязнения ПАУ в системе контроля в донных отложениях озера остается **бенз(а)пирен (БП).**

Определение ПАУ и БП в экосистеме озера Байкал (в воде озера, сточных водах комбината, донных отложениях) было начато Росгидрометом в 1981 г. (таблица 1.1.1.3.3).

Таблица 1.1.1.3.3

**Концентрации бенз(а)пирена и площади зон загрязнения в донных отложениях в районе сброса сточных вод БЦБК с 1981 г. по 2011 г.**

Характеристики	1981 август	1984 март	1985 март	1985 август	1986 март	1986 август	1988 сентябрь	2010 июль	2011 август
Площадь полигона, км <sup>2</sup>		9,3	17,7	15,0	17,9	20,3	20,1	15,5	16,0
Общее количество проб	9	20	37	35	35	41	40	30	31
Концентрации бенз(а)пирена, интервал значений/среднее значение, нг/г сухого осадка	<u>4,1-43,1</u> 18,2	<u>0,2-65,2</u> 7,4	<u>0,3-48,5</u> 9,1	<u>0,2-95,9</u> 24,7	<u>0,5-34,6</u> 10,6	<u>0,5-40,5</u> 15,7	<u>3,0-59,7</u> 18,6	<u>1-16</u> 5,3	<u>0,3-17,1</u> 8,2

Изучение эффекта антропогенного воздействия на озеро через состояние гидробионтов является по своей сути конечным звеном влияния загрязняющих веществ, в данном случае, полициклических ароматических углеводородов (бензапирена) на экосистему озера и главным выводом по всей цепочке комплексных проблем.

Исследование антропогенной нагрузки на зообентос с помощью биогеохимической методики исследований в современном мониторинге в районе сброса сточных вод БЦБК до настоящего времени не проводилось.

Изучение накопления загрязняющих веществ в зообентосе впервые выполнено на полигоне в августе 2011 года.

Образование БП происходит в результате сульфатно-целлюлозного производства бумаги при термической обработке древесины. Согласно разработанной в Институте химии АН Эстонии шкале сравнительной оценки загрязненности донных отложений внутриконтинентальных водоемов бензапиреном, его фоновая концентрация для песков не должна превышать 2 мкг/кг сухого осадка (с.о.), для глинистых илов – 5 мкг/кг с.о.; умеренная концентрация - 2-5 и 5-30 мкг/кг с.о., соответственно; на сильно загрязненных участках – более 5 и более 30 мкг/кг с.о., соответственно.

Проведенные многолетние исследования по изучению накопления БП в донных отложениях показали неоднородный характер их распределения по дну полигона. Максимальные содержания БП были обнаружены в районе глубин 50-100 м, а не в зоне распространения илистых отложений, что прямо совпадает с аналогичным механизмом накопления ПАУ при изучении накопления углеводородов в области лавинной седиментации и в местах массивированного поступления углеводородов в геохимических барьерных зонах. На так называемом маргинальном фильтре смешения речных и морских вод может осаждаться более 80 % углеводородов, последний (фильтр) препятствует поступлению в море антропогенных углеводородов, приносимых рекой.

Маргинальный фильтр это массивный выпуск сточных вод комбината и их контакт с озерной водой. По шкале оценок донные отложения на этом участке полигона в 2011 году, как и в предыдущие годы исследований озера, относятся к «сильно загрязненным». В 2011 году среднее содержание бенз(а)пирена в донных отложениях на полигоне БЦБК увеличилось в 1,5 раза - с 5,3 мкг/кг до 8,2 мкг/кг с.о. Содержание бенз(а)пирена в зоне влияния БЦБК в 1984-1996 гг. составляло от 8,0 до 14,2 мкг/кг с.о. (Афоница Т.Е. Потоки углеводородных соединений в озере Байкал, процессы их накопления и преобразования в донных осадках. Автореферат д.г.-м.н. Иркутск. 1998 г.). Природный биосинтез БП в морской среде составляет доли процента от общего антропогенного поступления углеводородов.

На тех же станциях отбора проб донных отложений в районе БЦБК в 2011 году были отобраны 9 проб зообентоса. Преобладающими группами по численности и биомассе являлись олигохеты и амфиподы. Единично встречались личинки хирономид, моллюски и пиявки. Биообразцы (валовое содержание) сушились с помощью сульфата натрия. Донные отложения (навеска 3 г) и зообентос (навеска 2 г) были проанализированы в Институте проблем мониторинга окружающей среды ФГБУ НПО «Тайфун» методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Приведенные данные по содержанию БП в зообентосе можно считать предварительными, так как закономерности накопления загрязняющих веществ в зообентосе в значительной мере определяются локальной литогеохимической обстановкой в донных отложениях и направлением подводного потока сточных вод.

Из литературных источников известно о значительном накоплении бенз(а)пирена в рыбах, моллюсках, фито- и зоопланктоне, бентосе, высшей водной растительности. Обычно бентосные беспозвоночные обладают наиболее высокой степенью накопления БП.

Содержание БП в зообентосе на полигоне в районе комбината находилось в пределах 0,04-0,78 мкг/кг с.в. при среднем содержании - 0,23 мкг/кг сухого веса (с.в.). Значительно превышающие среднее значение (0,34; 0,49; 0,78 мкг/кг с.в.) концентрации бенз(а)пирена были отмечены в трех участках полигона, непосредственно расположенных вблизи выпуска сточных вод комбинатом. В фоновом районе содержание БП в двух пробах зообентоса было 0,05 мкг/кг с.в. и 0,19 мкг/кг с.в., среднее значение 0,12 мкг/кг с.в. В данном случае содержание БП в зообентосе на участках дна полигона, примыкающих к месту сброса сточных вод комбината, превышает фоновые значения от 2,8 до 6,5 раз. Для сравнения приводим данные по содержанию бенз(а)пирена в зообентосе Баренцева моря  $8,0 \pm 3,0$  мкг/кг с.в.

Среди ПАУ были идентифицированы 17 аренов: нафталин, 1-метилнафталин, аценафтен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз(а)антрацен, хризен, бенз(е)пирен, бенз(б)флуорантен, перилен, бенз(к)флуорантен, бенз(а)пирен, дибенз(а,н)антрацен, бенз(г,н,и)перилен, инден[1,2,3-с,д]пирен. В донных отложениях и зообентосе в более высоких концентрациях, как правило, обнаруживались пирен, хризен, флуорантен и бенз(а)пирен, что соответствует характерному профилю ПАУ, выделенному в донных отложениях Северной Двины в района сброса сточных вод ЦБК. Процентное содержание указанных веществ от общей суммы ПАУ составило в среднем - 8,6 %; 8,4 %; 12 % и 4,6 %, соответственно.

По предварительным выводам отмечается корреляция между уровнем накопления ПАУ в гидробионтах и их содержанием в донных отложениях. Проведенные исследования показали отсутствие корреляции между концентрациями БП в зообентосе и в донных отложениях на полигоне в районе Байкальского ЦБК, а также на авандельте р. Селенга. Длительное нахождение моллюсков в морской воде с содержанием бензапирена на уровне 5 нг/дм<sup>3</sup> не приводит к накоплению в них канцерогена. Однако, приведенные данные по биогеохимическим исследования на озере в 2011 году, свидетельствуют об имеющем место накоплении бенз(а)пирена в зообентосе озера.

Степень биологической опасности при накоплении БП в зообентосе следует выяснить методами водной токсикологии или прикладной гидробиологии. Следует отметить, что пресноводные гидробионты на порядок чувствительнее по отношению к загрязняющим веществам при сравнении с морскими особями.

Оценка уровня опасности содержания БП в донных отложениях и зообентосе озера Байкал требует дальнейшего тщательного изучения. Необходимо продолжить начатые исследования для разработки конкретной шкалы оценки экологической опасности накопления БП в донных отложениях и зообентосе, как это приведено для морских вод. Данное сочетание геохимических и биогеохимических исследований в системе наблюдений на озере делают экологический мониторинг более информативным.

Представленные данные гидрохимического и геохимического контроля грунтовой воды и донных отложений, выполненные ФГБУ «ГХИ» и Иркутским УГМС на полигоне в августе 2011 года, при сравнении с данными 2010 года, свидетельствуют о повышении уровня загрязненности природной среды озера Байкал в районе сброса сточных вод БЦБК по следующим характерным показателям: растворенному кислороду, органическим кислотам летучим, сульфидной сере, легкогидролизуемым углеводам, трудногидролизуемым углеводам, бенз(а)пирену (включая БП в зообентосе), ГХБ, ДДД.

Общая площадь загрязненных донных отложений, рассчитанная по комплексным показателям, увеличилась в 1,3 раза. Следует отметить, что площадь зоны загрязнения, отмеченная в районе полигона, является заниженной при оценке влияния комбината на донные отложения озера, так как в системе контроля отсутствуют наблюдения на глубинах более 350 м. Сложное геоморфологическое строение исследуемого района (полигона), наличие трех каньонов с резкими уклонами склонов, повышенная сейсмичность региона часто способствуют скатыванию-сползанию осадочного материала на большие глубины озера.

### **Состояние донных отложений на авандельте реки Селенга**

В августе 2011 года были возобновлены комплексные исследования качественного состояния донных отложений и грунтовой воды на авандельте реки Селенга, прерванные в 2001 году (последняя съемка на авандельте была выполнена в июне 2000 г.).

Сетки отбора проб донных отложений в 2011 году и 2000 году значительно отличались, как по глубинам отбора проб, так и по местам их отбора. В 2000 году отбор проб в основном проводился в местах впадения многочисленных устьевых протоков в озеро на глубинах 0,5-5,0 м, где донные отложения представлены разнорезнистыми песками.

В 2011 году была применена новая схема отбора проб донных отложений на авандельте, по которой, в большей степени, анализировались крупноалевритовые и мелкоалевритовые илы. Новая схема отбора проб донных отложений была вызвана введением в 2010 году в систему контроля донных отложений на озере изучения стойких органических загрязнителей - канцерогенных полициклических ароматических углеводородов. Ранее проведенные исследования в 1989 году показали, что максимальное накопление ПАУ в донных отложениях авандельты проявляется на глубинах 10-25 м в траверсе речных выносов из протоки Харауз.

В 2011 году было отобрано по 12 проб донных отложений и грунтовой воды на глубинах 10-50 м, которые были проанализированы по стандартной методике **геохимического и гидрохимического контроля донных отложений и грунтовой воды** проводимого Росгидрометом на озере Байкал (таблицы 1.1.1.3.4, 1.1.1.3.5). В 2000 году было отобрано и проанализировано по 11 проб донных отложений и грунтовой воды в мелководной озерной части дельты.

При сравнении контролируемых показателей в донных отложениях, определенных в 2011 году, с аналогичными данными в 2000 году, отчетливо проявляется тенденция увеличения средних содержаний всех показателей в отложениях в последнем году наблюдений. Такое литогеохимическое распределение является закономерным естественным явлением в процессе механической дифференциации (распределении) осадочного материала в крупных водоемах. Максимальные содержания ингредиентов в основном фиксируются в мелкоалевритовых и глинистых илах. Для крупных водоемов характерно наличие седиментационных барьеров - зона смешения речных и озерных вод, которая определяет придельтовое накопление речных наносов, здесь происходит седиментация основной части оставшегося в транзите стокового потока взвешенного вещества. На авандельте реки происходит последовательная седиментация осадочного материала твердого стока согласно его гидравлической крупности. Именно здесь осаждается большая часть привнесенного обломочного (тонкозернистого) материала, происходит биогенная ассимиляция не только органических веществ, но и различных микрокомпонентов, находящихся как в растворенном состоянии, так и во взвесах (на авандельте реки Селенга это глубины в пределах 10-30 м). На глубинах авандельты реки до 5 м осаждаются в основном грубозернистые донные отложения – разнозернистые пески, что как следствие приводит к накоплению минимальных содержаний контролируемых показателей.

Таблица 1.1.1.3.4

**Гидрохимическая характеристика грунтового раствора донных отложений  
в районе Селенгинского мелководья, мг/дм<sup>3</sup>  
(числитель - пределы, знаменатель - среднее значение)**

Показатели	1989 г.	1994 г.	2000 г.	2011 г.	Изменение к 2000 г. по средним за год (%)
Растворенный кислород, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	<u>1,47-12,3</u> 7,63	<u>1,70-10,2</u> 7,39	<u>6,25-11,5</u> 8,22	<u>0,64-10,13</u> 7,63	-7
Минеральный азот	<u>0-1,25</u> 0,21	<u>0-0,12</u> 0,04	<u>0-0,46</u> 0,06	<u>0-0,26</u> 0,03	-50
Минеральный фосфор	<u>0-0,016</u> 0,007	<u>0-0,029</u> 0,010	<u>0-0,023</u> 0,006	<u>0-0,011</u> 0,003	-50
Летучие фенолы	<u>0-0,007</u> 0,002	<u>0-0,002</u> 0,001	<u>0-0,008</u> 0,001	<u>0-0,002</u> 0,001	-



**Геохимическая характеристика донных отложений  
в районе Селенгинского мелководья, %**  
(числитель - пределы, знаменатель - среднее значение)

Показатели	1989 г.	1994 г.	2000 г.	2011 г.	Изменение к 2000 г. по средним за год (%)
Органический азот	<u>0,05-0,34</u> 0,14	<u>0,05-0,43</u> 0,18	<u>0,02-0,26</u> 0,07	<u>0,03-0,29</u> 0,14	100
Органический углерод	<u>0,13-2,50</u> 0,92	<u>0,06-3,09</u> 0,94	<u>0,03-1,29</u> 0,24	<u>0,24-2,51</u> 1,30	442
Сульфидная сера	<u>0,001-0,017</u> 0,007	<u>0-0,011</u> 0,002	<u>0,001-0,006</u> 0,002	<u>0,001-0,016</u> 0,005	150
ЛГУ (Легко гидролизуемые углеводы)	<u>0,05-1,46</u> 0,57	<u>0,09-0,52</u> 0,22	<u>0,04-0,39</u> 0,13	<u>0,12-1,22</u> 0,46	254
ТГУ (Трудно гидролизуемые углеводы)	<u>0-0,71</u> 0,31	<u>0,06-0,80</u> 0,22	<u>0,04-0,39</u> 0,13	<u>0,12-1,22</u> 0,46	254
ЛГК (Лигнино-гумусовый комплекс)	<u>0,07-1,23</u> 0,63	<u>0,33-1,36</u> 0,66	<u>0,70-1,61</u> 0,93	<u>0,52-1,65</u> 1,2	29
ТГУ+ЛГК / Общая сумма органических веществ	<u>20-49</u> 32	<u>14-77</u> 52	<u>45-342</u> 172	<u>27-82</u> 49	-72

Для анализируемых геохимических показателей, отмечается, что с увеличением глубины озера концентрации последних в донных отложениях возрастают, на что также оказывает влияние активное волновое воздействие на донные отложения. Увеличение содержания органического вещества в донных отложениях авандельты по данным наблюдений в 2011 году, при сравнении с 2000 годом, приводит к снижению концентрации растворенного кислорода в грунтовой воде.

**Бенз(а)пирен в донных отложениях и гидробионтах.** В водном стоке р. Селенга в озеро постоянно обнаруживаются высокие концентрации нефтяных углеводородов, так среднемноголетние содержания последних составляют до 3 ПДК. В 2006 году в 8 пробах речной воды был обнаружен БП со средним содержанием 2,8 нг/дм<sup>3</sup> при максимальном содержании 3,5 нг/дм<sup>3</sup>. Однако, на авандельте реки, где аккумулируется основная масса речной взвеси с адсорбированным комплексом загрязняющих веществ, включая ПАУ, содержание последних в донных отложениях значительно больше, чем растворенных соединений.

В 1989 году в русле реки (9 проб - илстые отложения в прибрежной нижней части островов на глубинах до одного метра) и на авандельте (20 проб - 10 проб разнородные пески глубины до 10 метров, 10 проб илстые отложения глубины 10-50 м) были проведены изучения содержания БП в донных отложениях. Бенз(а)пирен был обнаружен во все исследованных образцах. Средняя концентрация арена на авандельте составила 2,6 мкг/кг с.о. (размах величин 0,1-11,1 мкг/кг с.о.), что не превышало фоновый уровень, однако, в ряде проб илстых отложений в северо-западной части полигона на глубинах 10-25 м авандельты в травесе по основному выносу речной воды протокой Харауз концентрации БП достигали 7,5-11,1 мкг/кг с.о., что позволяет считать этот участок умеренно загрязненным. Основной твердый сток реки аккумулируется между 20-метровой изобатой и протоками Харауз, Средняя и Шаманка, что приводит к наибольшему накоплению седиментационного материала и как следствие БП в юго-западной части авандельты. Средняя концентрация бенз(а)пирена в русле реки составляла в 1989 году - 1,8 мкг/кг с.о. (размах величин 0,5-3,0 мкг/кг с.о.) и не превышала фоновых значений.

Распределение БП в донных отложениях отобранных в 2011 году также показывает на неоднородный характер. Среднее содержание БП на авандельте составило 1,4 мкг/кг с.о. при размахе величин 0,03-7,8 мкг/кг с.о. Отмечается значительное повышение содержания БП только в крупно-алевритовых илах на глубинах 10-25 м (3,3 нг/г с.о., 7,8 мкг/кг с.о.) при сравнении с содержанием последних в более грубозернистых отложениях, что полностью сопоставимо с наблюдениям 1989 года. При сравнении данных полученных по бенз(а)пирену в 1989 году, с данными 2011 года, последние свидетельствуют об относительном снижении содержания арена. По приведенным данным, можно говорить об умеренном загрязнении авандельты реки только на глубинах 10-25 м, на траверсе речных выносов протокой Харауз, что можно в дальнейшем использовать при конкретной оптимизации мониторинга на авандельте реки.

На тех же станциях отбора проб донных отложений на авандельте реки были отобраны 4 пробы зообентоса. В пробах зообентоса обнаружены следующие доминирующие группы беспозвоночных: олигохеты, амфиподы, единично – хирономиды, двустворчатые моллюски. Содержание БП в зообентосе находилось в пределах 0,04-0,13 мкг/кг с.в., среднее 0,07 мкг/кг с.в. Проведенные исследования авандельте реки, также показали отсутствие корреляции между концентрациями бензапирена в зообентосе и донных отложений.

Оценка площади загрязненного участка авандельты реки некорректна из-за малого числа проанализированных проб, а также из-за отсутствия подробной ее литогеохимической характеристики.

Среди идентифицированных ПАУ в донных отложениях и зообентосе были обнаружены 17 аренов: нафталин, 1-метилнафталин, аценафтен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз(а)антрацен, хризен, бенз(е)пирен, бенз(б)флуорантен, перилен, бенз(к)флуорантен, бензапирен, дибенз(а,н)антрацен, бенз(г,н,и)перилен, инден[1,2,3-с,д]пирен. В более высоких концентрациях обнаруживались нафталин и 1-метилнафталин, которые относятся к нефтяным полиаренам. Их процентное содержание от общей суммы ПАУ составило в среднем 13,6 % и 10,7 %, соответственно, бенз(а)пирена - 1,3 %. Концентрация БП варьировала в пределах 0,03-7,8 мкг/кг с.о., среднее содержание составило - 1,4 мкг/кг с.о. В 1984-1996 годах в верхнем слое донных отложениях южной части Селенгинского мелководья, куда поступает наибольшее количество твердого и жидкого стоков реки, было идентифицировано 9 ПАУ (Афони́на Т.Е. Потоки углеводородных соединений в озере Байкал, процессы их накопления и преобразования в донных осадках. Автореферат д.г.-м.н. Иркутск. 1998 г.): 3,4-бензапирен, пирен, перилен, N-алкилакридон, алкил-нафалин, фенантрен, 2,3-бензфлуорен, бензолные углеводороды, тетрафеновые углеводороды.

**Хлорорганические пестициды.** В августе 2011 года впервые проведено изучение содержания ХОП в донных отложениях авандельты р. Селенга. Проанализировано 12 проб донных отложений и грунтовой воды, отобранных на равномерно распределенных по веерообразному спектру устьевой части реки станциях, с целью контроля поступления седиментационного материала (с сорбированным комплексом стойких органических загрязнителей) от основных проток реки в озеро. Глубины отбора составляли 20-55 м, в этом отрезке глубин на авандельте реки донные отложения представлены в основном крупноалевритовыми илами, так как по мере удаления от дельты вглубь озера изменяется гранулометрический состав отложений в сторону увеличения пелитовой фракции.

Среди набора анализируемых хлорорганических пестицидов в донных отложениях авандельты наибольшее распространение имеет ПХБ, который обнаружен в 67 % исследуемых проб. Среднее содержание пестицида составило 0,0005 мг/кг при размахе величин <0,0001-0,0017 мг/кг. Среди полихлорированных бифенилов наиболее часто (в 50 % всех проанализированных проб) встречался конгенер - 52.

Вторым по количеству значимых значений является гамма-ГХЦГ, обнаруженный в 42 % отобранных проб. Среднее содержание пестицида в донных отложениях составило

0,0008 мг/кг, при размахе величин <0,0001–0,0077 мг/кг. По данным ежегодника «Качество поверхностных вод Российской Федерации за 2008 г.», среднее содержание пестицидов в донных отложениях поверхностных водных объектов РФ составило 0,0012 мг/кг. Повышенное содержание гамма-ГХЦГ по отношению к другим изомерам указывает на недавнее поступление пестицида в авандельту. Известно, что линдан разлагается микроорганизмами и фотохимически трансформируется в альфа-ГХЦГ, который достаточно стабилен в водной среде. На полигоне в районе сброса сточных вод БЦБК, как раз доминирует альфа-ГХЦГ, что указывает уже на давнее поступление ГХЦГ в донные отложения озера.

ГХБ обнаружен в 1 пробе - 0,0071 мг/кг, альфа-ГХЦГ в двух пробах - 0,0001 мг/кг и 0,0004 мг/кг, бета-ГХЦГ в двух пробах - 0,0012-0,0142 мг/кг; Альдрин, Дигидрогептахлор, Диедрин, ДДТ не обнаружены, ДДД зафиксирован в двух пробах - 0,0003 мг/кг и 0,0004 мг/кг, ДДД в одной пробе - 0,0002 мг/кг.

Все значимые значения пестицидов в донных отложениях расположены в западной части авандельты на траверсе речного выноса протоки Харауз, в восточной части авандельты пестициды не обнаружены, за исключением ПХБ.

Представленные данные гидрохимического и геохимического контроля грунтовой воды и донных отложений, выполненные ФГБУ «ГХИ» и Иркутским УГМС на авандельте р. Селенга в августе 2011 года, при сравнении с данными 2000 года, а также 1994 года и 1989 года, свидетельствуют об отсутствии роста загрязненности в природной среде по стандартному набору контролируемых показателей, включая зообентос. Однако отмеченные умеренное загрязнение донных отложений БП, а также ПХБ и гамма-ГХЦГ свидетельствуют о необходимости продолжения мониторинга ПАУ и ХОП в данном районе.

В настоящее время дельта реки представляет собой мощный биогеохимический фильтр, который пока еще справляется с громадным потоком загрязняющих веществ поступающих в нее со всего водосборного бассейна реки.

## **Выводы**

1. Данные гидрохимического и геохимического контроля грунтовой воды и донных отложений, выполненные в 2011 году, при сравнении с данными 2010 года, свидетельствуют о повышении уровня загрязненности природной среды озера Байкал в районе сброса сточных вод БЦБК по следующим характерным показателям: растворенному кислороду, органическим кислотам летучим, сульфидной сере, легкогидролизуемым углеводам, трудногидролизуемым углеводам, бенз(а)пирену (включая БП в зообентосе), ГХБ, ДДД.

2. Общая площадь загрязненных донных отложений в районе выпуска сточных вод БЦБК, рассчитанная по комплексным показателям, увеличилась в 1,3 раза и составила 5,4 км<sup>2</sup>. Площадь зоны загрязнения, отмеченная в районе полигона, является заниженной при оценке влияния комбината на донные отложения озера, так как в системе контроля отсутствуют наблюдения на глубинах более 350 м.

3. Данные гидрохимического и геохимического контроля грунтовой воды и донных отложений, выполненные на авандельте реки Селенга в 2011 году, при сравнении с данными 2000 года, а также 1994 года и 1989 года, свидетельствуют об отсутствии роста загрязненности в природной среде по стандартному набору контролируемых показателей, включая зообентос.

4. Отмеченные в 2011 году умеренное загрязнение донных отложений на авандельте Селенги бенз(а)пиреном, а также ПХБ и гамма-ГХЦГ свидетельствуют о необходимости продолжения мониторинга ПАУ и ХОП в данном районе.