

УДК 669.187:504.4.054

Д.А. ЗЕЛЕНЮК, геолог, Д.В. БРАВКОВ, главный геолог

Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр металлургической промышленности «Энергосталь» (ГП «УкрНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫВЕДЕННОГО ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ШЛАМОНАКОПИТЕЛЯ НА ГИДРОСФЕРУ

Исследованы гидрологический и гидрохимический режимы акватории шламонакопителя, выведенного из эксплуатации без выполнения природозащитных мероприятий. Оценено воздействие фильтрата воды акватории шламонакопителя на подземные воды сопредельной с ним территории.

**Ключевые слова:** шламонакопитель, акватория, загрязнение, концентрация, макроэлементы, микроэлементы, пост, скважина, плесы, режим, динамика, металлургические шлаки, приоритетные загрязнители.

Проектом второй редакции ДБН В.2.4-...:2011 «Хвостохранилища и шламонакопители» [1] для выводимых из эксплуатации гидротехнических сооружений в качестве природоохранного мероприятия предписаны перехват и отведение выпадающих на них атмосферных осадков и, в оговоренных случаях, рекультивация. На практике реализация нормативных требований в части отвода ливневых и талых вод представляется трудно-выполнимой как в технологическом, так и в экономическом отношении, особенно в случае загрязнения стоков опасными соединениями. Поэтому важными являются наблюдения за гидродинамическим и гидрохимическим режимами акватории выведенного из эксплуатации шламонакопителя и подземными водами прилегающей к нему территории на постах и скважинах организованной наблюдательной сети.

Химико-аналитические исследования проведены с использованием комплекса методов: химического, атомно-абсорбционного, хроматографического и др. Оценка химического состава воды произведена согласно действующим нормативным документам [2]. Вода классифицирована по составу в соответствии с отраслевым стандартом [3] в порядке возрастания концентраций от меньшего значения к большему. Экологическая характеристика подземных и поверхностных вод площадки дана согласно установленным правилам и рекомендациям [4].

Шламонакопитель электросталеплавильного цеха (ЭСПЦ) Донецкого металлургического завода (ДМЗ) в цикле оборотного водоснабжения электропечей ДСП-100 предназначался для круглосуточного складирования шламов мокрых газоочисток. Введен в эксплуатацию в июне 1978 г. и был вынужденно закрыт в декабре 1986 г.

Основные параметры гидротехнического сооружения: площадь – 16,2 га, объем – 2,2 млн м<sup>3</sup>, высота напора – 11 м. Расположен между шлаковым отвалом ДМЗ и рекой Кальмиус на неглубокой двухветвевой балке, врезанной в древнюю террасу реки. Абсолютная отметка поверхности естественного рельефа в хвостовой части 150–155 м, в нижнем бьефе плотины – 135–137 м, на пойме реки – 116–119 м.

В структурно-тектоническом отношении исследованная территория находится в зоне сочленения Кальмиус-Горьковской котловины и южной зоны мелкой складчатости, на грабене, образованном тремя крупными дизъюнктивными нарушениями [5]. Площадку шламонакопителя пересекают надвиги № 2 и № 3 – нарушения 3-го порядка.

Геологический разрез площадки представлен каменноугольными породами (C<sub>2</sub><sup>3</sup>) и перекрывающими их делювиальными суглинками (Q<sub>III</sub>) мощностью до 3 м.

В литологическом составе отложений свиты преобладают алевролиты (46,1 %). Содержание песчаников – 25 %, известняков – 0,55 %, угля – 2,08 %.

Рельеф поверхности кровли каменноугольных пород выровненный, с выраженным уклоном на юго-запад. По чаше шламонакопителя он показан на рис. 1.

Вдоль южной ограждающей дамбы на дневную поверхность выходят угольные пласты h3 и h21, которые на территории хвостовой части шламонакопителя разрабатывались в прошлые годы мелкими шахтами.

Поверхностные воды в зоне воздействия шламонакопителя представлены рекой Кальмиус и притоком № 7. Река Кальмиус отнесена к водоемам культурно-бытового водопользования. По своему течению принимает не-

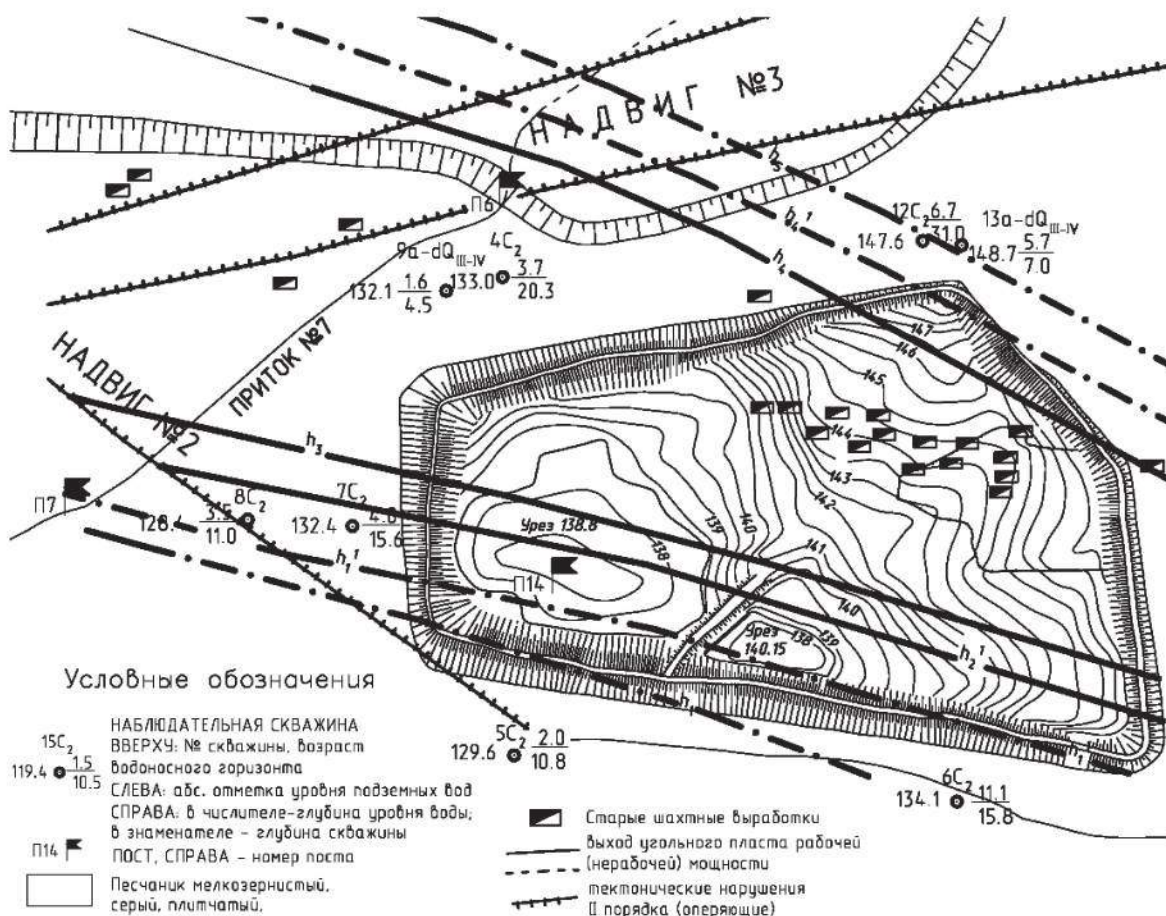


Рисунок 1 – Геологическая схема площадки

сколько крупных балок-притоков. В одной из них расположен шламонакопитель ЭСПЦ.

Приток № 7 отнесен к водоемам культурно-бытового водопользования 3-го разряда. Его длина – чуть больше 3 км, площадь водосбора – около 2 км<sup>2</sup>.

Русло водотока в верховье и среднем течении проложено по тальвегу северной ветви балки. Общее направление оси русла – юго-западное, вкрест простирания основных геологических структур и в противотоке к р. Кальмиус.

Водоток использовался для сброса в реку шахтных вод (в объеме около 250 м<sup>3</sup>/час), сходных по химическому составу с подземными. В среднем и нижнем течении сброс происходил через каскад прудов-отстойников.

Гидрогеологические условия территории характеризуются повсеместным распространением водоносного горизонта зоны активного выветривания каменноугольных пород. В условиях естественного режима уровень водоносного горизонта повторял структуру поверхности рельефа, понижаясь в границах шламонакопителя с абс. отм. 141–142 м в хвостовой части до 132 м в нижнем бьефе плотины и до 114–115 м – в области разгрузки на пойме реки.

Водопроницаемость выделенных литологических разностей каменноугольных пород по результатам опытных

откачек изменяется в границах от 0,17 м/сут для аргиллитов до 2,6 м/сут для песчаников. Отдельные интервалы аргиллитов мощностью в несколько метров остаются безводными.

По гидравлическому градиенту воды – слабонапорные, по характеру циркуляции – порово-пластовые. Напоры, достигающие нескольких метров, обусловлены складчатым залеганием пород и чередованием водоносных пород со слабофильтрующими.

Питание водоносного горизонта в ненарушенных условиях осуществлялось за счет инфильтрации атмосферных осадков, фильтрации поверхностного стока, бокового подтока с расположенной гипсометрически выше территории, фильтрационных потерь притока № 7 и находящихся на нем прудов-осветлителей. Разгрузка осуществлялась напрямую в р. Кальмиус.

Гидродинамический режим площадки, исключая полосу, прилегающую к руслу притока № 7, оставался застойным, что вызвано низкой водопроницаемостью аргиллитов и экранированием подземного стока надвигами № 2 и № 3, блокирующими водоносные песчаники.

Гидрохимический режим подземных вод определялся сугубо природными факторами, главным образом

водностью года. По величине общей минерализации и соотношению концентраций основных ионов воды были типичными для района – соленоватыми хлоридно-сульфатными магниевыми-натриево-кальциевыми (табл. 1).

Климат района резко континентальный. Норма осадков – 450 мм в год. Величина испарения с водной поверхности – около 750 мм в год. Разница между показателями за период наблюдений приведена на рис. 2, химический состав дождевых осадков – в табл. 1.

Изменение экологической обстановки на площадке пришлось на середину 70-х годов прошлого столетия. К этому времени:

- закончилось строительство шламонакопителя ЭСПЦ и началась его эксплуатация;
- отвал твердых промышленных отходов (ТПО) расширился, вплотную подойдя к северной ограждающей дамбе шламонакопителя, и перекрыл в среднем течении русло притока № 7. Вода стекала по заполненному техногенными грунтами старому руслу и выходила на дневную поверхность в створе плотины шламонакопителя ореольным потоком;
- водный баланс притока № 7 с изменением путей сброса шахтных вод в сложной санитарно-гигиенической обстановке переформатировался на сброс стоков двух малобитных источников –

бытовых и дренажных вод, с общим расходом около 25 м<sup>3</sup>/час.

В результате оформилось три очага загрязнения прилегающей к шламонакопителю среды – отвал твердых промышленных отходов (ТПО), ореольный поток из отвала и фильтрующий шламонакопитель.

Концентрация на ограниченной площади нескольких потенциальных источников и очагов загрязнения гидросферы со сходным набором приоритетных загрязнителей существенно осложнила оценку роли каждого из них.

Отвал ТПО формировался за счет доменных и мартеновских шлаков, мусора с боем огнеупорного кирпича после ремонта мартеновских печей (до 20 %), пылевидных железосодержащих и других отходов металлургического производства. Усредненный валовый химический состав основных из них приведен в табл. 2.

Влияние металлургических шлаков на качество поверхностных и подземных вод было изучено недостаточно, позиции некоторых авторов по данному вопросу противоречивы [6].

Исследования [6, 7], проведенные по заданию и пробам, предоставленным ГП «УкрНТЦ «Энергосталь», показали, что процессы, происходящие в воде при выщелачивании доменных и мартеновских шлаков, неоднозначны.

**Таблица 1 – Химический состав вод приходного баланса и грунтовых вод в условиях естественного режима**

| Объект – вода                    | Катионы |     |      |      |                 | Анионы |                 |                  |                 |                 | Сухой остаток | Жесткость общая | pH   | Окисляемость, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> |
|----------------------------------|---------|-----|------|------|-----------------|--------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|------|---|
|                                  | Na+K    | Ca  | Mg   | Fe   | NH <sub>4</sub> | Cl     | SO <sub>4</sub> | HCO <sub>3</sub> | NO <sub>2</sub> | NO <sub>3</sub> |               |                 |      |   |
| Атм. осадки                      | 6,1     | 9,7 | 11,1 | 0,12 | 6,8             | 10,3   | 55,6            | 41,2             | 0,09            | 1,9             | 138,3         | 1,39            | 6,45 | 4,28  |
| Техн. вода                       | –       | –   | –    | 0,04 | –               | 160    | 520             | –                | 0,05            | 0,3             | 1297          | –               | 8,50 | 9,90  |
| Пруд № 1                         | –       | –   | –    | 0,03 | –               | 170    | 495             | –                | 0,05            | 4,0             | 1241          | –               | 8,60 | 9,70  |
| Водохранилище                    | –       | –   | –    | 0,08 | 0,4             | 190    | 541             | –                | 0,03            | 0,6             | 1575          | –               | 8,20 | 7,70  |
| Шламонакопитель                  | –       | –   | –    | 0,04 | 0,2             | 258    | 611             | –                | 0,07            | 1,2             | 1680          | –               | 8,71 | 12,50   |
| Оборотная чистого цикла          | –       | –   | –    | 0,40 | –               | 240    | 717             | –                | –               | –               | 1710          | –               | 8,10 | 2,20  |
| Грунт в условиях естеств. режима | 469     | 529 | 200  | –    | –               | 719    | 1239            | 462              | –               | –               | 3352          | –               | 7,30 | –   |

**Таблица 2 – Валовый химический состав твердых отходов металлургического производства, слагающих отвал**

| Среднее содержание основных компонентов, в % по массе             |                                |          |          |                                |           |           |                               |        |        |         |        |  |
|---|--------------------------------|----------|----------|--------------------------------|-----------|-----------|-------------------------------|--------|--------|---------|--------|--|
| SiO <sub>2</sub>  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO      | MgO      | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO       | MnO       | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | CaS    | F общ  | S       | C      |  |
| Доменные шлаки отвальные Полежаковского отвала                    |                                |          |          |                                |           |           |                               |        |        |         |        |  |
| 37,44   | 8,54                           | 43,52    | 3,34     | 1,07                           | 0,76      | 1,25      | н. оп.                        | н. оп. | –      | 2,28    | н. оп. |  |
| Мартеновские шлаки отвальные сепарированные Полежаковского отвала |                                |          |          |                                |           |           |                               |        |        |         |        |  |
| 27,25   | 5,3                            | 26,9     | 8,7      | 8,12                           | 7,42      | 4,4       | н. оп.                        | н. оп. | н. оп. | 0,093   | н. оп. |  |
| Мартеновские несепарированные шлаки Полежаковского отвала         |                                |          |          |                                |           |           |                               |        |        |         |        |  |
| 21,6–31,4   | 1,8–11,5                       | 9,5–44,9 | 1,9–11,5 | 4,1–18,0                       | 5,45–12,9 | 1,45–29,8 | н. оп.                        | –      | –      | 0,1–0,5 | –      |  |
| Железосодержащие отходы (усредненные)                             |                                |          |          |                                |           |           |                               |        |        |         |        |  |
| 8,5   | 1,36                           | 7,3      | 1,47     | 46,9                           | 23,6      | 0,91      | 0,05                          | 1–2    | 51,6   | 0,25    | 9,64   |  |



При взаимодействии воды с доменными шлаками:

- в первые несколько суток повышается величина водородного показателя (рН), снижается окислительно-восстановительный потенциал;
- в растворе появляются нитраты и нитриты, возрастают концентрации тяжелых металлов: железа, марганца, хрома, меди, никеля, цинка;
- при длительной фильтрации основные показатели фильтрата, включая содержание металлов, стабилизируются;
- по шлаковым минералам развиваются новообразования, представленные гидросиликатами, реже гидроалюмосиликатами и гидроалюминаторами кальция, а также гипсом, кальцитом и арагонитом.

Аналогичные исследования на мартеновских шлаках показали, что процесс протекает по той же схеме, но в меньших масштабах, а именно:

- величина водородного показателя рН возрастает до 9,5 против 11,5;
- по отношению к исходной воде появляются нитриты и аммиак, повышается содержание железа, алюминия, в единичных пробах – хрома и меди;
- концентрации хлоридов, сульфатов и общая минерализация повышаются незначительно.

Вода, фильтрующаяся через мартеновские шлаки, остается пресной и по органолептическим и токсикологическим признакам удовлетворяет требованиям, предъявляемым к воде объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [6]. С данной оценкой можно не согласиться по той причине, что матрица мартеновских шлаков сложена из малорастворимых минералов и более прочная по сравнению со шлаками домен-

ными, поэтому для ее разрушения требуется намного больше времени, чем было отведено для опытов.

Приведенные результаты лабораторных исследований выщелачивания металлургических шлаков позволяют оценивать отвал ТПО как потенциальный очаг загрязнения подземных вод территории, смежной с отвалом, а приток № 7 – как инструмент распространения загрязнителей.

Гидродинамический и гидрохимический режимы стоков изучены по результатам наблюдения и опробования на постах ПЗ и П6. Данные по посту ПЗ, размещенному выше отвала, приняты за фоновые, по посту П6 – как характеризующие ореольный поток.

Поверхность в местах каптирования отвальных вод покрыта минеральными новообразованиями: агрегатами мелких зерен преимущественно карбонатного состава (кальцита, фатерита, доломита), гидросиликатами кальция в очень небольшом количестве и реликтовыми минералами. В составе агрегатов также присутствует сульфидная фаза. Стоки имеют легкий сероводородный запах, выявленный и при лабораторных исследованиях.

Статистически обработанные результаты исследований приведены в табл. 3–5.

Сравнительно с фоновой общая минерализация и соотношение ионов в ореольных водах меняются по схеме, сходной с формированием состава фильтрата при выщелачивании доменных шлаков в лабораторном эксперименте, и ореольная вода приобретает:

- повышенную минерализацию (3197,5 мг/дм<sup>3</sup>), щелочность (рН=11,9) – и переходит в подгруппу соленоватых, весьма щелочных;

Таблица 3 – Состав макрокомпонентов по постам ПЗ и П6

|     | рН      | Сухой остаток | NH <sub>4</sub> | Макрокомпоненты, мг/дм <sup>3</sup> |       |       |       |                 |                 |       |                 |                  |
|-----|---------|---------------|-----------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-----------------|-----------------|-------|-----------------|------------------|
|     |         |               |                 | К                                   | Na    | Ca    | Mg    | NO <sub>2</sub> | NO <sub>3</sub> | Cl    | SO <sub>4</sub> | HCO <sub>3</sub> |
| ПДК | 6,5–8,5 | 1000,0        | –               | –                                   | 200,0 | –     | –     | 3,3             | 45,0            | 350,0 | 500,0           | –                |
| ПЗ  | 7,8     | 2240,2        | 4,05            | 6,5                                 | 253,1 | 241,3 | 130,9 | 0,04            | 12,0            | 159,7 | 1075,8          | 422,1            |
| П6  | 11,9    | 3179,5        | 4,7             | 161,0                               | 584,1 | 312,4 | 14,9  | 0,18            | 9,6             | 418,8 | 1462,9          | –                |

Таблица 4 – Состав основных показателей загрязнения по постам ПЗ и П6

|     | Окисляемость | Жесткость общая | НРО <sub>4</sub> | Нефте-элементы | БПК5  | СПАВ  | ХПК   | Формаль-дегид | Фенол | Цианиды | Роданиды |
|-----|--------------|-----------------|------------------|----------------|-------|-------|-------|---------------|-------|---------|----------|
| ПДК | –            | –               | –                | –              | –     | –     | 30    | 0,05          | 0,001 | 0,1     | 0,1      |
| ПЗ  | 7,25         | 22,84           | 0,49             | <0,05          | 22,95 | 0,155 | 30,03 | 0,10          | 0,002 | <0,005  | <0,005   |
| П6  | 6,56         | 16,81           | 0,19             | 0,023          | 17,74 | 0,05  | 22,08 | 0,09          | 0,002 | 0,007   | 0,006    |

Таблица 5 – Состав микроэлементов по постам ПЗ и П6

|     | Микроэлементы, мг/дм <sup>3</sup> |      |        |        |         |       |     |      |        |       |        |       |
|-----|-----------------------------------|------|--------|--------|---------|-------|-----|------|--------|-------|--------|-------|
|     | Li                                | Ba   | Ti     | Pb     | Hg      | Cr    | Sr  | F    | Co     | Ni    | Cd     | Bi    |
| ПДК | 0,03                              | 0,1  | 0,1    | 0,03   | 0,0005  | 0,05  | 7   | 0,2  | 0,1    | 0,1   | 0,001  | 0,1   |
| ПЗ  | <0,02                             | 0,3  | <0,004 | 0,002  | 0,00003 | 0,007 | 2,9 | 0,17 | <0,003 | 0,007 | 0,001  | 0,026 |
| П6  | 0,03                              | 0,07 | 0,003  | <0,003 | 0,00002 | 0,026 | 2,1 | 0,21 | 0,003  | 0,005 | <0,001 | <0,02 |

- аномально высокие по сравнению с фоновыми концентрации сульфат-иона (1462,9 мг/дм<sup>3</sup>), особенно хлор-иона (418,8 мг/дм<sup>3</sup>), при полном замещении гидрокарбонатов карбонат- и гидрат-ионами (59 мг/дм<sup>3</sup>);
- аномально высокие концентрации щелочных металлов, особенно калия, при малых концентрациях магния;
- хлоридно-сульфатный кальциево-натриевый тип минерализации взамен гидрокарбонатно-сульфатного магниево-натриево-кальциевого;
- повышенные концентрации некоторых металлов: фтора – с превышением ПДК и лития – до уровня ПДК.

Контрастность водородного показателя, калия и гидрокарбонатов позволила в дальнейшем использовать их в качестве маркирующих элементов.

Соединения азота, как показали лабораторные исследования, не свойственны металлургическим шлакам.

Наличие соединений азота в пробах воды ореольного потока, как и повышенные концентрации и величины показателей, контролирующих загрязненность стоков органическими соединениями, вызваны антисанитарными условиями в верхнем течении притока № 7.

Высокая степень загрязнения ореольных вод (табл. 6) фиксируется преимущественно по органолептическим показателям (общая минерализация, жесткость, содержание сульфатов) и превышающим ПДК концентрациям марганца.

Емкость шламонакопителя образована земляной плотиной и ограждающими дамбами обвалования, возведенными из суглинков, снятых с площади чаши акватории. При этом на дневную поверхность были выведены выветрелые каменноугольные породы, что увеличило фильтрационные потери. Их дополняли: неучтенная проектом фильтрация в непогашенные горные выработки и повышенная трещиноватость массива в мульде сдвижения горных пород.

В ходе эксплуатации шламонакопителя дефицит оборотной воды превысил расчетные объемы, и шламонакопитель работал исключительно на притоке свежей воды. Урез воды акватории не достигал перелива. Из-за

интенсивных утечек фильтрата уровень подземных вод поднялся по отношению к исходному: в нижнем бьефе плотины до 2 м, в пьезометрах – от 2 до 4 м.

К январю 1980 г. уровень воды над переливом достиг 680 мм, но потери оставались еще высокими (табл. 7).

**Таблица 7 – Баланс воды в шламонакопителе ЭСПЦ в начальный период его эксплуатации (1980 г.)\***

| Баланс воды в шламонакопителе по месяцам    | Январь–февраль | Март   | Апрель |
|---|----------------|--------|--------|
| Поступило в шламонакопитель, м <sup>3</sup> | 148320         | 111600 | 86400  |
| Потери воды общие, м <sup>3</sup>           | 117300         | 86600  | 61400  |
| Потери воды, %                              | 79,6           | 74,6   | 71,1   |
| Добавилось воды, м <sup>3</sup>             | 31000          | 25000  | 25000  |

\* Составлена по журналам инструментальных замеров цеха водоснабжения ДМЗ

К июню 1980 г. превышение уреза воды над переливом достигло 1,5 м. В большинстве пьезометров уровни резко упали, многие ниже забоя. Фактические фильтрационные потери превышали прогнозируемые и в последующие годы, что решило участь объекта.

С выводом из эксплуатации шламонакопителя при сохранившемся объеме фильтрационных потерь основной источник приходной части водного баланса был утрачен. Шламонакопитель стал мелеть (рис. 2). С увеличением площади пляжей объем стекающих в акваторию атмосферных осадков сократился (в последние годы – ориентировочно на 1000 м<sup>3</sup> с гектара). Понадобилось около двух десятилетий, чтобы акватория самоликвидировалась, главным образом благодаря испарению.

Потери на инфильтрацию ушли на второй план вследствие сокращения площади шламонакопителя и снижения водопроницаемости массива из-за тампонажа трещин шламом. На конец 2011 г. состояние земляных гидротехнических сооружений – плотины и ограждающей дамбы – удовлетворительное. Объекты инфраструктуры демонтированы. Акватория сохранилась на полутора гектарах в юго-западном, наиболее пониженном по рельефу участке, с абс. отм. днища чаши 136–137 м и стол-

**Таблица 6 – Оценка степени загрязнения фоновых и ореольных вод**

| Оценочный показатель загрязнения вод   |     |     |      |      |           |      |                   |        |        |                 |      |      |      | Степень загрязнения |         |
|--|-----|-----|------|------|-----------|------|-------------------|--------|--------|-----------------|------|------|------|---------------------|---------|
| санитарно-токсикологический            |     |     |      |      |           |      | органолептический |        |        |                 |      |      |      |                     |         |
| Коэффициент концентрации элементов, Кс |     |     |      |      |           |      |                   |        |        |                 |      |      |      |                     |         |
| Li                                     | Ba  | Cd  | F    | Na   | формальд. | СПК  | фенолы            | минер. | жестк. | SO <sub>4</sub> | Cl   | Fe   | Mn   | СПК                 |         |
| Фоновые воды – пост 3                  |     |     |      |      |           |      |                   |        |        |                 |      |      |      |                     |         |
|  | 3,0 | 1,0 |      | 1,26 | 2,0       | 7,25 | 2,0               | 2,24   | 3,25   | 2,15            |      | 1,16 |      | 10,8                | высокая |
| Ореольные воды – пост 6                |     |     |      |      |           |      |                   |        |        |                 |      |      |      |                     |         |
| 1,0                                    |     |     | 1,05 | 2,92 | 1,8       | 6,77 | 2,0               | 3,17   | 2,40   | 2,92            | 1,19 | 1,10 | 3,60 | 16,3                | высокая |



бом воды до одного метра. Разделена автодорожной насыпью на два плеса, с перепадом урезов воды до 1 м.

Пляжи сложены из шламов: в хвостовой части – мощностью 0,2–0,3 м и в головной – до 1 м. По гранулометрическому составу шламы классифицируются как пески пылеватые. Содержание агрегатов фракций более 0,05 составляет 26,2–35,5 % при среднем значении 31,3 %. Средневзвешенная крупность агрегатов – 0,04–0,05, коэффициент неоднородности – 3,5.

Химический состав шламов (табл. 8) – стальной лом (>85 %), стружка, металлизированные окатыши, раскислители и легирующие добавки (8–10 %), чугун (2–5 %) – сформировался на основе металлической шихты для выплавки стали ЭСПЦ.

Многокомпонентный состав шламовой пыли, улавливаемой мокрой газоочисткой, дополняли промышленные аэрозоли и лигатуры из вторичного сырья, содержащего разнообразные токсичные примеси.

В начальный период эксплуатации шламонакопителя солевой и микрокомпонентный состав осветленной воды акватории формировался на основе двух источников пресной воды местных водохранилищ – используемой для поддержания проектного уровня воды акватории и пульпы газоочисток ЭСПЦ.

В технологическом цикле газоочистки ЭСПЦ добавочная вода, взаимодействуя с разогретой до 250 °С газовоздушной смесью, охлаждала ее до 40 °С, поглощала железосодержащую пыль и уносила ее в шламонакопитель. При этом общая ее минерализация, концентрация ионов сульфатов и хлора увеличивались на 20–30 %. Но, систематически разубоживаясь свежей водой, добавочная вода сохраняла концентрации основных ионов на уровне, приведенном в табл. 1.

С выводом шламонакопителя из эксплуатации гидрохимический режим воды акватории кардинально изменился. Плотина и ограждающие дамбы надежно за-

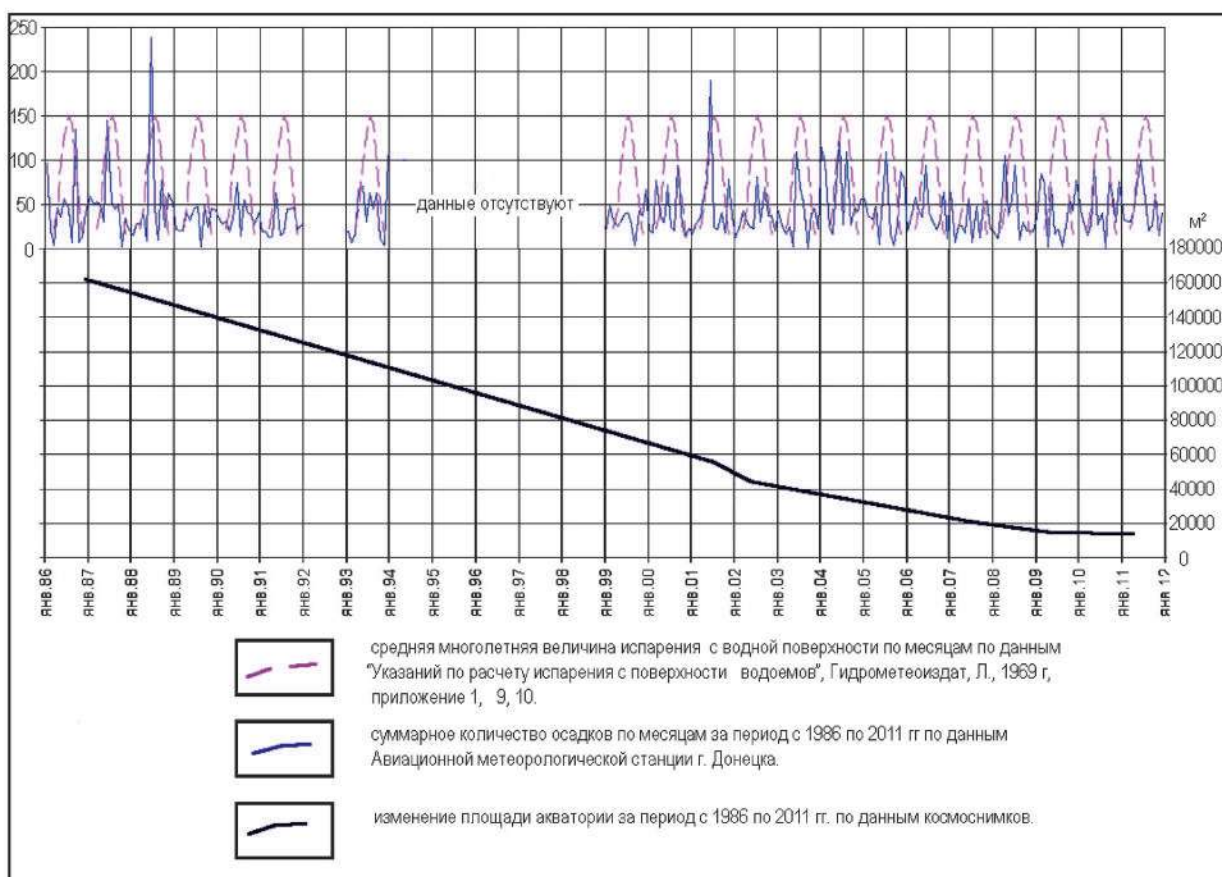


Рисунок 2 – График уменьшения площади акватории шламонакопителя во времени

Таблица 8 – Химический состав шламов и пульпы мокрых газоочисток ЭСПЦ

| № п/п | Вид отходов             | Среднее содержание основных компонентов в % по массе |                                |     |     |                                |      |     |                               |                                |     | п. п. п. |
|-------|-------------------------|--|--------------------------------|-----|-----|--------------------------------|------|-----|-------------------------------|--------------------------------|-----|----------|
|       |                         | SiO <sub>2</sub>                                     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | MgO | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | C   |          |
| 1     | Шлам газоочисток ЭСПЦ   | 12,5   | 0,9                            | 4,5 | 4,0 | 51,5                           | 14,6 | 3,8 | 0,05                          | 4,0                            | 0,6 |          |
| 2     | Пульпа газоочисток ЭСПЦ | 3,4  | 0,6                            | 8,1 | 5,1 | 55,1                           | 8,8  | 4,0 | 0,02                          | –                              | 0,3 | 14,6     |

щищали акваторию от воздействия внешних факторов. В плесах и на примыкающих к ним пляжах растительности не было. Составляющие гидродинамического режима ограничивались атмосферными осадками, выпадающими на плесы и стекающими с пляжей, испарением и физико-химическими процессами, протекающими в системе шлам – вода. Осадки приносили пресные, кислые по водородному показателю воды с низкими концентрациями щелочных металлов и преобладанием бикарбонатов.

По результатам опробования (пост № 14) вода акватории шламонакопителя слабощелочная, наименее жесткая из опробованных на участке (средняя величина общей жесткости составляет 12,99 ммоль/дм<sup>3</sup>), по величине водородного показателя приближается к оральной на выходе из шлакового отвала (пост № 6). Ее состав формировался по схеме, близкой к установленной лабораторными исследованиями для мартеновских шлаков.

Гидрохимический режим в годовом цикле носил явно выраженный сезонный характер с минимумами, приуроченными к периодам весеннего снеготаяния, и максимумами – к концу теплого сезона. С началом теплого сезона и до заморозков общая минерализация и концентрация ионов в воде акватории шламонакопителя повысились, исключая периоды летних дождей (табл. 9).

**Таблица 9 – Динамика соотношения частных величин концентраций основных ионов к средним**

| № п/п | Дата опробования | K    | Na   | Mg   | SO <sub>4</sub> | Cl   | HCO <sub>3</sub> |
|-------|------------------|------|------|------|-----------------|------|------------------|
| 1     | 07.06.1999       | 0,68 | 0,88 | 0,88 | 0,87            | 0,78 | 0,73             |
| 2     | 15.10.1999       | 1,16 | 1,06 | 1,26 | 1,15            | 0,99 | 1,18             |
| 3     | 09.02.2000       | 1,10 | 0,95 | 0,80 | 0,88            | 0,95 | 0,69             |
| 4     | 22.09.2000       | 1,30 | 1,17 | 1,37 | 1,20            | 1,12 | 1,03             |

Сравнительный анализ данных химического состава осветленной воды на начало эксплуатации шламонакопителя и в сохранившемся плесе (табл. 1, 10) позволяет заключить, что за многолетний период от ввода шламонакопителя в эксплуатацию по 2002 г. ее общая минерализация увеличилась на 55 %, концентрации ионов хлора и сульфатов выросли соответственно на 100 % и 25 %, натрия – на 200 % с превышением уровня ПДК (табл. 13). Концентрация калия возросла до 73 мг/дм<sup>3</sup> (максимальная для участка). Тип минерализации изменился на хлоридно-сульфатный натриевый. Увеличилось содержание лития, бария, хрома, фтора, железа и марганца.

Микроэлементы с лимитирующими признаками вредности «санитарно-токсикологический» определены в концентрации выше норм ПДК: 2-го класса опасно-

сти – литий, барий, фтор; 3-го класса опасности – хром. Элементы 3-го класса опасности с лимитирующими признаками вредности «общесанитарный и органолептический» – фенолы, общая минерализация, железо, марганец, ионы хлора и сульфатов с превышением ПДК (табл. 12). Степень загрязнения воды акватории опасными компонентами – высокая.

Соединения азота сохранились в низких и средних концентрациях, близких к исходным. Процессы нитрификации азота в окислительной среде протекают сравнительно быстро, и содержание соединений азота в воде акватории шламонакопителя со временем должно было снижаться. Сохранились они, по-видимому, за счет атмосферных осадков (табл. 1).

Формальдегид и СПАВ не свойственны ни технологическому процессу газоочисток ЭСПЦ, ни технической воде, использованной в оборотном цикле газоочисток электропечей. Они выявлены в концентрациях выше ПДК (табл. 11). Содержание фенолов в годовом цикле относительно стабильно, на уровне вдвое выше ПДК. Поддерживается привносом вещества атмосферными осадками. Степень загрязненности воды акватории органическими соединениями сохраняется низкой.

Подземные воды в нижнем бьефе плотины дамбы шламонакопителя (скважины С7 и С4) по сравнению с подземными водами периода ненарушенного режима менее минерализованы, преимущественно за счет подпитки фильтратом акватории шламонакопителя. Этот вывод подтверждают вдвое меньшие концентрации в воде акватории щелочноземельных металлов, хлора и аномально высокое содержание индикатора воды шламонакопителя – иона калия.

Профили изменения концентрации основных макро- и микрокомпонентов от шламонакопителя в скважины 5, 7 и 8 приведены на рис. 3.

В зоне надвига № 2 (скважина С5) химический состав подземных вод соответствует условиям застойного режима, когда соли и оксиды могут накапливаться, адсорбируясь на поверхности глинистых минералов, в раздробленных аргиллитах. Общая минерализация и жесткость воды здесь вдвое выше, чем в воде акватории шламонакопителя (рис. 3).

По концентрации ионов водорода вода нейтральная, от слабосоленовой до соленовой. Тип минерализации: хлоридно-сульфатные магниевые-кальциевые-натриевые воды.

Соединения азота по частным и средним величинам устойчиво содержатся в концентрациях ниже норм ПДК, включая единичные максимумы нитратов.

Окисляемость, БПК<sub>5</sub> и ХПК устойчиво низкие (средняя концентрация соответственно 2,5 мг/дм<sup>3</sup>,

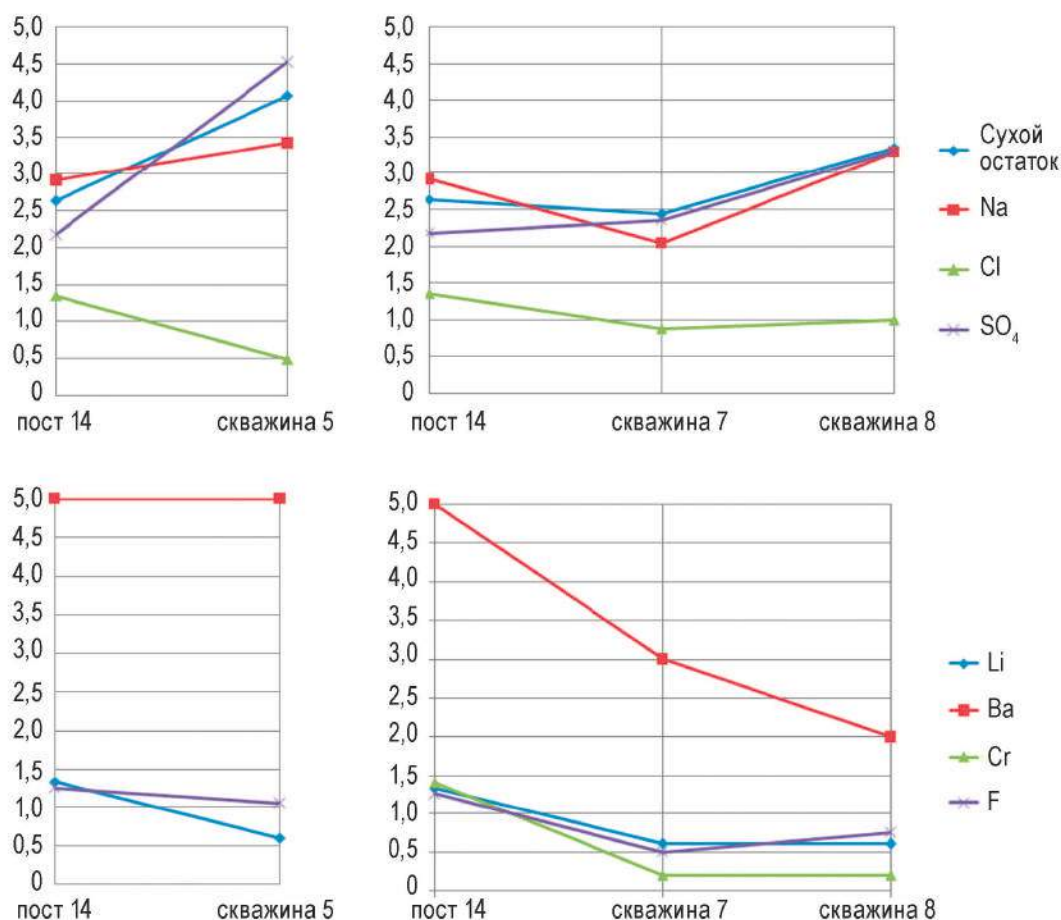


Рисунок 3 – Профили изменения концентрации основных макро- и микрокомпонентов от шламонакопителя к скважинам № 5, 7, 8

Таблица 10 – Состав макрокомпонентов по посту 14, скважинам 4, 5, 7, 8

|     | рН      | Сухой остаток | NH <sub>4</sub> | Макрокомпоненты, мг/дм <sup>3</sup> |       |       |       |                 |                 |       |                 |                  |
|-----|---------|---------------|-----------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-----------------|-----------------|-------|-----------------|------------------|
|     |         |               |                 | K                                   | Na    | Ca    | Mg    | NO <sub>2</sub> | NO <sub>3</sub> | Cl    | SO <sub>4</sub> | HCO <sub>3</sub> |
| ПДК | 6,5–8,5 | 1000,0        | 2,0             | –                                   | 200,0 | –     | –     | 3,3             | 45,0            | 350,0 | 500,0           |                  |
| П14 | 8,5     | 2631,0        | 0,32            | 73,0                                | 581,0 | 110,0 | 90,0  | 0,007           | 2,08            | 473,0 | 1084,0          | 209,0            |
| С4  | 7,4     | 2526,1        | 0,68            | 1,24                                | 408,1 | 206,2 | 122,8 | 0,13            | 3,47            | 309,1 | 1293,2          | 165,6            |
| С5  | 7,2     | 4076,0        | 0,18            | 1,9                                 | 686,0 | 236,0 | 228,0 | 0,056           | 50,0            | 172,0 | 2261,0          | 483,0            |
| С7  | 7,3     | 2913,0        | 0,59            | 3,3                                 | 487,0 | 234,0 | 134,0 | 0,43            | 13,3            | 357,0 | 1425,0          | 262,0            |
| С8  | 7,5     | 3414,0        | 0,19            | 1,7                                 | 687,0 | 207,0 | 124,0 | 0,021           | 10,5            | 341,0 | 1662,0          | 378,0            |

Таблица 11 – Состав основных показателей загрязнения по посту 14, скважинам 4, 5, 7, 8

|     | Окисляемость | Жесткость общая | НР0 <sub>4</sub> | Нефтеэлементы | БПК5  | СПАВ | ХПК  | Формальдегиды | Фенолы | Цианиды | Роданиды |
|-----|--------------|-----------------|------------------|---------------|-------|------|------|---------------|--------|---------|----------|
| ПДК | –            | –               | –                | –             | –     | –    | 30   | 0,05          | 0,001  | 0,1     | 0,1      |
| П14 | 2,82         | 12,99           | 1,280            | 0,017         | 6,125 | 0,04 | 7,97 | 0,07          | 0,0023 | 0,008   | 0,008    |
| С4  | 3,36         | 16,55           | 0,13             | <0,01         | 7,10  | 7,82 | 7,08 | 0,04          | <0,001 | <0,001  | <0,005   |
| С5  | 2,12         | 26,93           | 0,054            | 0,0105        | 3,00  | 3,44 | 8,00 | <0,01         | <0,001 | <0,001  | <0,005   |
| С7  | 2,26         | 22,38           | 0,027            | <0,010        | 3,55  | 4,95 | 4,85 | 0,007         | 0,0038 | 0,004   | 0,0075   |
| С8  | 3,50         | 19,70           | 0,076            | 0,0055        | 5,95  | 6,98 | 8,80 | 0,044         | 0,0046 | 0,005   | <0,005   |

4,8 мг/дм<sup>3</sup> и 6,8 мг/дм<sup>3</sup>). В годовом цикле изменяются в пределах: 2,0–2,6 мг/дм<sup>3</sup>; 4,2–6,0 мг/дм<sup>3</sup>; 5,7–7,7 мг/дм<sup>3</sup>.

Формальдегиды, цианиды, роданиды, нефтепродукты содержатся в концентрациях ниже норм ПДК (табл. 11). Обращает внимание отсутствие формальдеги-

дов – одного из загрязнителей воды акватории шламонакопителя – в подземных водах участка в нижнем бьефе плотины шламонакопителя.

В целом в подземных водах территории нижнего бьефа плотины шламонакопителя превышены норма-



тивные показатели по общей минерализации, концентрации ионов, сульфатов и хлоридов. При этом все они ниже фоновых.

Из микроэлементов с лимитирующим признаком вредности «санитарно-токсикологический» определен в концентрации выше норм ПДК только барий (2-й класс опасности). Элементы 3-го класса опасности с лимитирующими признаками вредности «общесанитарный и органолептический» – медь, цинк, титан – определены на два порядка ниже норм ПДК; марганец, фенолы, общая минерализация, железо, ионы сульфатов – с превышением ПДК. Степень загрязнения воды в скважинах опасными компонентами – высокая (табл. 13).

Загрязненные подземные воды с центральной и северной частей территории нижнего бьефа плотины с высоким градиентом уклона стекают вдоль русла притока № 7 в р. Кальмиус. Подземный сток с южной ее части блокирует надвиг № 2.

**ВЫВОДЫ**

Анализ гидрохимического и гидродинамического режимов акватории шламонакопителя и его воздействия на подземную гидросферу показал:

1. Режимными наблюдениями за изменением состава воды ореольного потока на выходе из отвала ТПО

ДМЗ относительно фоновых значений на посту ПЗ подтверждено выщелачивание металлургических шлаков по схеме, установленной в лабораторных исследованиях [6].

2. В шламонакопителе общая минерализация исходной воды из-за низкого содержания в шламах минеральной фазы повышается при его работе на 25 % (до 1700–1750 мг/дм<sup>3</sup>) и после вывода из эксплуатации, в основном, в результате упаривания дополнительно на 50–60 % (до 2600–2650 мг/дм<sup>3</sup>), оставаясь ниже, чем у подземных вод участка, но с увеличенным спектром микроэлементов.

3. Уровни негативного воздействия акватории шламонакопителя на подземную гидросферу в его рабочем состоянии и после вывода из эксплуатации различны. В рабочем состоянии шламонакопителя фильтрационные потери компенсировались за счет подпитки технической водой, что снижало концентрацию загрязнителей в осветленной воде. Общая минерализация в многолетнем цикле воды оставалась относительно стабильной на уровне 1800–2000 мг/дм<sup>3</sup>, близкой по составу и концентрациям ионов к исходной технической воде. До концентраций, превышающих ПДК, поднялось содержание ионов хлора, сульфатов и ряда микроэлементов.

4. Часть фильтрата шламонакопителя в смеси с водой ореольного потока из отвала ТБО стекала вдоль русла притока № 7. На остальном пути подземный сток бло-

**Таблица 12 – Состав микроэлементов по посту 14 и скважинам 4, 5, 7, 8**

|     | Микроэлементы, мг/дм <sup>3</sup> |      |        |        |         |       |     |      |        |        |        |       |
|-----|-----------------------------------|------|--------|--------|---------|-------|-----|------|--------|--------|--------|-------|
|     | Li                                | Ba   | Ti     | Pb     | Hg      | Cr    | Sr  | F    | Co     | Ni     | Cd     | Bi    |
| ПДК | 0,03                              | 0,1  | 0,1    | 0,03   | 0,0005  | 0,05  | 7   | 0,2  | 0,1    | 0,1    | 0,001  | 0,1   |
| П14 | 0,04                              | 0,5  | 0,008  | 0,008  | 0,00008 | 0,07  | 1,6 | 0,25 | <0,001 | <0,01  | <0,001 | <0,01 |
| С4  | <0,02                             | <0,1 | <0,001 | 0,001  | 0,00004 | <0,01 | 1,6 | 0,17 | 0,001  | <0,001 | <0,001 | <0,01 |
| С5  | <0,02                             | 0,5  | 0,003  | <0,001 | 0,00006 | –     | 3,2 | 0,21 | <0,001 | 0,003  | <0,001 | <0,01 |
| С7  | <0,02                             | 0,3  | <0,001 | <0,001 | 0,00002 | <0,01 | 0,8 | 0,1  | <0,001 | 0,006  | <0,001 | –     |
| С8  | <0,02                             | 0,2  | 0,003  | 0,002  | 0,00002 | <0,01 | 1,4 | 0,15 | <0,001 | 0,02   | <0,001 | <0,01 |

**Таблица 13 – Оценка степени загрязнения вод шламонакопителя и прилегающих скважин**

| Оценочный показатель загрязнения вод   |     |     |      |      |           |      |                   |        |        |                 |      |      |      | Степень<br>загрязнения |         |
|--|-----|-----|------|------|-----------|------|-------------------|--------|--------|-----------------|------|------|------|------------------------|---------|
| санитарно-токсикологический            |     |     |      |      |           |      | органолептический |        |        |                 |      |      |      |                        |         |
| Коэффициент концентрации элементов, Кс |     |     |      |      |           |      |                   |        |        |                 |      |      |      |                        |         |
| Li                                     | Ba  | Cr  | F    | Na   | Формальд. | СПК  | Фенолы            | Минер. | Жестк. | SO <sub>4</sub> | Cl   | Fe   | Mn   | СПК                    |         |
| Шламонакопитель – пост 14              |     |     |      |      |           |      |                   |        |        |                 |      |      |      |                        |         |
| 1,33                                   | 5,0 | 1,4 | 1,25 | 2,90 | 1,4       | 13,2 | 2,30              | 2,63   | 1,85   | 2,16            | 1,35 | 1,20 | 1,10 | 12,6                   | высокая |
| Скважина 4                             |     |     |      |      |           |      |                   |        |        |                 |      |      |      |                        |         |
| –                                      | –   | –   | –    | 2,04 | –         | 2,04 | –                 | 2,52   | 2,92   | 2,58            | –    | –    | 4,16 | 12,8                   | высокая |
| Скважина 5                             |     |     |      |      |           |      |                   |        |        |                 |      |      |      |                        |         |
| –                                      | 5,0 | –   | 1,05 | 3,43 | –         | 9,48 | –                 | 4,07   | 3,84   | 4,52            | –    | 1,06 | –    | 13,4                   | высокая |
| Скважина 7                             |     |     |      |      |           |      |                   |        |        |                 |      |      |      |                        |         |
| –                                      | 3,0 | –   | –    | 2,43 | –         | 5,43 | 3,80              | 2,91   | 3,18   | 2,85            | 1,02 | –    | 1,46 | 15,2                   | высокая |
| Скважина 8                             |     |     |      |      |           |      |                   |        |        |                 |      |      |      |                        |         |
| –                                      | 2,0 | –   | –    | 3,43 | –         | 5,43 | 4,60              | 3,41   | 2,81   | 3,32            | –    | –    | 3,97 | 18,1                   | высокая |



кировали надвиги № 2 и № 3. Акватория занимала всю площадь чаши, урез воды поддерживался на заданном высоком уровне. Фильтрационные утечки оказывали гидродинамическое воздействие на структуру результирующего потока по всей площади акватории. По этому признаку шламонакопитель относился к группе гидравлически активных.

5. После консервации водный баланс шламонакопителя стал отрицательным в связи с ограниченным объемом выпадающих на чашу и внутренние склоны плотины атмосферных осадков и превышающими их в разы потерями на испарение и инфильтрацию. Площадь акватории, положение урезов и запасы воды последовательно уменьшались. В результате выпаривания росли общая минерализация, концентрация ионов щелочных и тяжелых металлов. Соответственно снижались фильтрационные потери. На определенном этапе они перестали сказываться на структуре результирующего потока. Шламонакопитель на этой стадии по гидродинамическому и гидрохимическому воздействию на подземную гидросферу перешел в группу нейтральных источников.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.4-...:2011. Хвостосховища і шламонакопичувачі : проект другої редакції [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.uvkr.com.ua/pages/dbn-new.pdf>.
2. СанПиН 4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.vashdom.ru/sanpin/4630-88/>.
3. ОСТ 41-05-263-86. Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре. – М. : ВСЕГИНГЕО, 1986. – 12 с.
4. Временное методическое руководство по проведению комплексных эколого-геологических исследований на территории Украины. – К. : ГГП Геопрогноз, 1994. – 331 с.
5. Попов, Г.Г. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР / Г.Г. Попов. – М. : Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1962. – 403 с.
6. Разработка рекомендаций по использованию сталеплавильных шлаков металлургических заводов УССР в промышленном гидротехническом строительстве : отчет о НИР (промежут.) : 10–11 / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии ; рук. Саратов И.Е. ; исполн. : Свиренко Л.П. и др. – Х., 1983. – 70 с. – Библиогр. : с. 50–52. – № ГР 80040820.
7. Исследование шлаков, укладываемых в основание кислородно-конвертерного цеха комбината «Запорожсталь», при взаимодействии с грунтовым потоком : отчет о НИР (заключ.) : 52–89 / Всесоюз. науч.-исслед. и конструкторско-технологический ин-т водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии ; рук. Ремизов В.И. ; исполн. : Брыгинец Е.Д. и др. – Х., 1991. – 87 с. – Библиогр. : с. 69–72. – № ГР 0191001502.
8. ПБ 03-438-02. Правила безопасности гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.rosteplo.ru/Npb\\_files/npb\\_shablон.php?id=904](http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablون.php?id=904)
9. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. – Л. : Гидрометеиздат, 1969. – 83 с.
10. Грушко, Я.М. Вредные неорганические соединения в промышленных сточных водах / Я.М. Грушко. – Л. : Химия, 1979. – 160 с.
11. Гольдберг, В.М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения / В.М. Гольдберг. – М. : Недра, 1984. – 262 с.
12. Бочеввер, Ф.М. Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнений / Ф.М. Бочеввер, А.Е. Орадовская. – М. : Недра, 1972. – 128 с.

*Поступила в редакцию 15.04.2012*

Досліджено гідрологічний і гідрохімічний режими акваторії шламонакопичувача, що виведений із експлуатації без виконання природозахисних заходів. Оцінено вплив фільтрату води акваторії шламонакопичувача на підземні води суміжної з ним території.

Hydrological and hydrochemical modes for water area of sludge store which was taken out of service without execution of environmental protection actions were investigated. Impact of water area filtrate of sludge store to groundwater of allied territory was estimated.