

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»**

**16+**  
**ISSN 2071-6168**

**ИЗВЕСТИЯ  
ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**Выпуск 12**

**Часть 2**

**Тула  
Издательство ТулГУ  
2017**

## ПРОГНОЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА НА УЧАСТКЕ СБРОСА ОТРАБОТАННОГО РАСТВОРА, СОДЕРЖАЩЕГО МЕДЬ

А.А. Нестер, Г.П. Евграшкина, А.А. Никитин

*Статья посвящена исследованиям состояния территорий предприятия, производящего печатные платы и обладающего гальваническими цехами для обеспечения производства. Кратко изложены основные аспекты негативного влияния отходов производства плат и гальваники на окружающую среду. В качестве примера рассматривается состояние с загрязнением грунтов при работе линий травления печатных плат и сливе их на территории промышленного предприятия.. Это приводит к загрязнению территорий предприятий значительным количеством опасных отходов, которые практически наносят вред грунтовым водам, окружающей среде. Чтобы избежать загрязнения грунтов на территории предприятий предлагается использовать технологию регенерации отработанных растворов травления, при которой выделенный металл используется как вторичное сырье для производства меди, а регенерированный раствор повторно используется для травления печатных плат. Проведены расчеты и выполнен прогноз загрязнения грунтовых вод отработанными растворами травления печатных плат и гальваники названных производств, что позволяет намечать пути для повышения экологической безопасности территорий предприятий.*

*Ключевые слова: экологический мониторинг, регенерация, травильные растворы, печатные платы, массоперенос, прогноз*

**Постановка проблемы.** Проблемы экологии в настоящее время очень актуальны для всего мира. Перечень основных экологических проблем, возникающих в результате интенсивного использования природных ресурсов можно представить следующим списком: загрязнение атмосферы, загрязнение почвы, загрязнение мирового океана, загрязнение атмосферы.

Транспорт и промышленность, используемые человеческим сообществом, потребляют большое количество кислорода из атмосферы, и при этом человек не восполняет потери и не выполняет установленных норм по очищению отходов до выхода их в атмосферу.

Ежегодно в атмосферу поступает не менее 1250 млн.т. оксида углерода, до 170 млн.т. сернистого ангидрида, 20 млн.т. окислов азота, а также сероводород, сероуглерод, соединения хлора, соединения фтора и многие другие вредные химические элементы.

В данное время человечество недостаточно делает для очищения, сохранения и улучшения состояния природы, в частности почвы, мирового океана и атмосферы. Строительство очистительных заводов, на которых производилась бы переработка отходов, уменьшение выброса в атмосферу газовых веществ намного улучшили бы экологическое состояние природы.

Серьезные проблемы создает современная промышленность в том числе производство печатных плат. Это производство связано с химическими процессами.

При травлении печатных плат щелочными и кислыми растворами сами растворы насыщаются соединениями меди и должны быть выведены для нейтрализации, утилизации и пр. Но это трудоемкий, затратный процесс. Проще слить неочищенный раствор в канализацию, нарушив существующие законы природоохранной направленности. Загрязнение грунтов в месте складирования шламов исследовано в работе [1].

В настоящей статье рассмотрен процесс загрязнения подземных вод.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Анализ литературных источников свидетельствует, что в последние годы все больше появляется публикаций о загрязнении почв промышленными предприятиями [2, 3, 4]. Так металлургические предприятия ежегодно выбрасывают на поверхность земли более 150 тыс. тонн меди, 120 тыс. тонн цинка, около 90 тыс. тонн свинца, 12 тыс. тонн никеля, 1,5 тыс. тонн молибдена, около 800 тонн кобальта и около 30 тонн ртути. На 1 грамм черновой меди отходы медеплавильной промышленности содержат 2,09 тонн пыли, в составе которой содержится до 15% меди, 60% окиси железа и по 4% мышьяка, ртути, цинка и свинца. Отходы машиностроительных и химических производств содержат до 1 тыс. мг/кг свинца, до 3 тыс. мг/кг меди, до 10 тыс. мг/кг хрома и железа, до 100 г/кг фосфора и до 10 г/кг марганца и никеля. В Силезии вокруг цинковых заводов громоздятся отвалы с содержанием цинка от 2 до 12% и свинца от 0,5 до 3%, а в США эксплуатируют руды с содержанием цинка 1,8% [4, 5, 6].

**Выделение нерешенных прежде частей общей проблемы.** Анализ достижений промышленности свидетельствуют, что среди самых оптимальных путей решения проблем экологии, нужно выделить внедрение ресурсосберегающих и экологически эффективных технологий.

Для решения экологических проблем требуются следующие действия:

экологический мониторинг; контроль концентрации вредных веществ в воде, почве, атмосфере; охрана растительного мира от вредителей и пожаров, а так же их восстановление; увеличение уникальных природных и заповедных зон; разведение растений и животных, занесенных в Красную книгу; экологическое просвещение населения.

Достижение таких положений, и в первую очередь, экологическое просвещение позволят сохранить экологически чистую среду для грядущих поколений.

**Постановка задачи.** Процесс движения отработанных растворов от поверхности земли в нижележащие горизонты грунтов происходит по законам физико-химической гидродинамики пористых сред. Согласно тео-

рии исследуемый процесс описывается уравнением движения и сохранения массы вещества для вертикального массопереноса [7].

**Изложение основного материала исследования.** Для выполнения прогнозных расчетов использованы исходные данные одного из предприятий Украины, эксплуатирующего оборудование для производства печатных плат, гальваническое оборудование.

1. Площадь и форма участка, на котором происходит слив отработанных растворов принимаем круглой диаметром 10 м.

2. За год выливается в грунт несанкционированно  $20 \text{ м}^3$  отработанного раствора на этот участок диаметром 10 м.

3. Содержание меди в отработанном растворе составляет 130 г/л.

4. Глубина залегания грунтовых вод от поверхности земли составляет 6 м.

Последовательность решения прогнозного расчета изложена ниже.

1. Определяем величину сброса отработанного раствора в сутки

$$20 \text{ м}^3/365=0,00594 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (1)$$

2. Определяем площадь участка сброса

$$F=\pi R^2=3,14 \cdot 5^2=78,5 \text{ м}^2 \quad (2)$$

Это площадь круга, через который в почву поступает загрязняющий отработанный раствор.

3. Определяем количество загрязняющего раствора в единицу времени на единицу площади

$$V=0,00594 \text{ м}^3/\text{сут}/78,5 \text{ м}^2=0,00007567 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{сут}} \text{ (м/сут)} \quad (3)$$

4. Определяем коэффициент гидродисперсии

$$D=D_m+\lambda V, \quad (4)$$

где  $D_m$  - коэффициент молекулярной диффузии  $D_m=0,000009 \text{ м}^2/\text{сут}$ ;  $\lambda$  - параметр рассеивания, который численно равен мощности зоны аэрации-6 м, т.е. расстоянию от поверхности земли до уровня грунтовых вод.

Подставляя в формулу численные значения получим:

$$D=0,000463 \text{ м}^2/\text{сут}$$

Для прогнозного расчета применяем аналитическое (фундаментальное) решение Карслоу-Егера [8].

$$\bar{C} = 0,5[\text{erfc}\xi + e^\eta \text{erfc}\xi] \quad (5)$$

$$C = \bar{C}(C^0 - C_0) + C_0 \quad (6)$$

$$\eta = VX/D \quad (7)$$

$$\xi = \frac{x - \frac{v}{n}t}{2\sqrt{\frac{D}{n}t}} \quad (8)$$

$$\xi^1 = \frac{x + \frac{v}{n}t}{2\sqrt{\frac{D}{n}t}}, \quad (9)$$

где  $\bar{C}$  - приведенная минерализация, безразмерная величина;  $C^0$  - минерализация меди в сбрасываемом растворе, г/дм<sup>3</sup>;  $C_0$  - содержание меди в поровом растворе зоны аэрации, г/дм<sup>3</sup>;  $C_0 = 0 \operatorname{erfc}\xi$ ,  $\operatorname{erfc}\xi$  - табулированные функции;  $V$  - среднегодовая скорость поступления раствора в зону аэрации, м/сут;  $x$  - расстояние от поверхности земли до уровня подземных вод, м;  $n$  - свободная пористость, д.ед;  $C$  - прогнозная минерализация порового раствора непосредственно над уровнем грунтовых вод, г/дм<sup>3</sup>

Прогнозный расчет выполнен на 10 и 50 лет от начала слива. Последовательность и результаты выполненного расчета представлены в таблице.

### Результаты прогнозного расчета

№ р.г.	Срок прогнозного расчета	$\xi$	$\xi^1$	$\operatorname{erfc}\xi$	$\operatorname{erfc}\xi^1$	$\eta=VX/D$	$\frac{vx}{eD}$	$\bar{C}$	$C$ , г/дм <sup>3</sup>	$X$ , м
1	10	0,795	1,27	0,26	0,08	0,978	2,659	0,235	28,2	6,0
2	50	0,22	0,698	0,756	0,315	0,978	2,659	0,8	108,9	6,0

Через 10 лет над уровнем подземных вод образуется загрязняющий бугор, по форме повторяющий конфигурацию участка сброса на поверхности. Минерализация воды бугра составит 28,2 г/дм<sup>3</sup>. Через 50 лет она увеличится до 108,9 г/дм<sup>3</sup>. Бугор будет растекаться на прилегающие территории по направлению основного потока и радиально.

**Результаты и их обсуждение.** Основным результатом данной работы является совершенствование метода количественной оценки загрязнения почв отработанными растворами цехов печатных плат и гальваники на территории предприятий. Для практической реализации проведенных исследований и их выводов нужна широкая компания разъяснений на предприятиях, учебных заведениях, которые готовят специалистов для работы в определенных отраслях, полноценное информирование общественности о состоянии и утилизации отходов на территориях предприятий особенно тех, где идет изготовление печатных плат и существует гальваническое производство.

**Выводы.** Статья позволяет оценить отрицательные аспекты слива отработанных растворов на территории предприятия и дает направление работ для развития технологий переработки и повторного использования травильных растворов в процессе травления печатных плат. Подводя итог изложенного материала можно констатировать, что расчеты, предложен-

ные в работе, позволят шире видеть проблемы и не допускать слива на территории предприятий опасных отработанных растворов травления, что в свою очередь приведет к улучшению экологической ситуации.

**Перспективы дальнейших исследований.** Дальнейшие исследования должны быть направлены на поиск технических решений для каждого отдельного предприятия (с учетом его технологических процессов) для регенерации отработанных растворов, повторного их использования в технологическом процессе предприятием.

### Список литературы

1. Нестер А.А., Евграшкина Г.П. Прогноз загрязнения машиностроительного предприятия шламами при производстве плат и гальваники // Известия тульского государственного университета. Технические науки. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. Вып. 6. С. 193-200.

2. Водяницкий Ю.Н., Добровольский В.В. Железистые минералы и тяжелые металлы в почвах. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 1998. 216 с.

3. Гришина Л.Г., Макаров М.И., Сапегина И.В. Влияние промышленного загрязнения на органическое вещество почв // Влияние атмосферного загрязнения на свойства почвы. М., 1991. С. 95-137.

4. Давыдова С.Л., Тагасов В.И. Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века: учебное пособие. М.: Изд-во РУДН, 2002. 140 с.

5. Одум Ю. Экология в 2-х томах. М.: Мир, 1986. Т. 1. 326 с.

6. Бродский А.К. Краткий курс общей экологии: учебное пособие 3-е изд. СПб., 2000. 224 с.

7. Евграшкина Г.П. Влияние горнодобывающей промышленности на гидрогеологические и почвенно-мелиоративные условия территорий. Днепрпетровск, 2003. 200 с.

8. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. М.: Наука, 1964. 488 с.

*Нестер Анатолий Антонович, канд. техн. наук, доц., [nesteranatol111@gmail.com](mailto:nesteranatol111@gmail.com), Украина, Хмельницкий, Хмельницкий национальный университет,*

*Евграшкина Галина Петровна, д-р геолог. наук, проф., зав. кафедрой, [hydrogeo44@gmail.com](mailto:hydrogeo44@gmail.com), Украина, Днепр, Днепровский национальный университет,*

*Никитин Александр Алексеевич, канд. техн. наук, доц., [nikphoavi@gmail.com](mailto:nikphoavi@gmail.com) Украина, Хмельницкий национальный университет*

*PROGNOSIS OF CONTAMINATION OF AQUIFEROUS HORIZON ON AREA OF UPCAST OF EXHAUST SOLUTION, CONTAINING COPPER*

*A.A. Nester, G.P. Evgrashkina, A.A. Nikitin*

*The article is sanctified to researches of the state of territories of enterprise of productive PCBS and possessing galvanic workshops for providing of production. The basic aspects of negative influence of wastes of production of pays and galvanic are briefly expounded on an environment. The state is as an example examined with contamination of soils during work of lines of etch of PCBS and plum of them on territories of industrial enterprise. It results in contamination of territories of enterprises the far of hazwastes, that practically harm to subsoil waters, environment. To avoid contamination of soils on territory of enterprises it is suggested to use technology of regeneration of exhaust solutions of etch, at that the distinguished metal is used as secondary raw material for the production of copper, and the regenerated solution is repeatedly used for the etch of PCBS. Calculations are conducted and the prognosis of contamination of subsoil waters exhaust solutions of etch of PCBS and galvanic of the named productions are executed, that allows to set ways for the increase of ecological safety of territories of enterprises.*

*Key words: ecological monitoring, regeneration, etchant solutions, PCBS, mass transfer, forecast.*

*Anatoly Antonovich Nester, candidate of technical sciences, docent, [nes-ter111@yandex.ru](mailto:nes-ter111@yandex.ru), Ukraine, Khmelnytskyi, Khmelnytskyi National University,*

*Galina Petrovna Evgrashkina, doctor of geological sciences, profesor, [hydrogeo44@gmail.com](mailto:hydrogeo44@gmail.com), Ukraine, Dnepr, Dnepr National University,*

*Aleksandr Alekseevich Nikitin, candidate of technical sciences, docent, [nikphoavi@gmail.com](mailto:nikphoavi@gmail.com), Ukraine, Khmelnytskyi, Khmelnytskyi National University*

УДК 621.892.2

## **ОПТИЧЕСКАЯ ПЛОТНОСТЬ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ТЕРМООКСИЛИТЕЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ**

Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, Д.Д. Абазин, О.Н. Петров, В.Г. Шрам

*Приведены результаты исследования термоокислительной стабильности моторных масел различной базовой основы в температурном интервале от 180 до 160 °С и синтетического масла от 200 до 180 °С. Предложен показатель термоокислительной стабильности, учитывающий оптическую плотность масел и испаряемость. Установлено влияние кинематической вязкости на показатель термоокислительной стабильности, показано, что отношение между показателем термоокислительной стабильностью и относительной вязкостью зависит от температуры и состава продуктов окисления для частично синтетического и синтетического масла.*

*Ключевые слова: оптическая плотность, коэффициент испаряемости, коэффициент относительной вязкости, показатели термоокислительной стабильности, температура окисления.*

В работах [1 – 4] процессы окисления смазочных масел оценивались коэффициентами поглощения светового потока, испарения и относительной вязкости. Целью настоящей работы являются исследования