

УДК 628.334:637.5 (474.5)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ  
ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОКОВ С ТЕРРИТОРИИ ПРЕДПРИЯТИЯ  
И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

**С. Мисявичене**, доктор технических наук  
Литовский сельскохозяйственный университет, Каунас, Литва

**Ключевые слова:** поверхностные (дождевые) стоки, концентрация химических элементов, эффективность очистки

**Введение**

Основная проблема качества воды в Литве обусловлена высокой трофичностью водоемов при их загрязнении органическими и биогенными веществами из-за недостаточной очистки стоков.

Упорядочение и очистка поверхностных сточных вод в настоящее время весьма актуальны, так как вместе с ними из стационарных источников загрязнения попадает около 10,9% органических веществ и примерно 29% нефтепродуктов. Большая часть городских поверхностных сточных вод сбрасывается неочищенными. Между тем их загрязненность возросла в связи с увеличением транспортного потока, интенсивности строительства, обслуживания дорог и других факторов.

Согласно данным Агентства по охране окружающей среды, в 2006 г. в поверхностные водоемы сброшено около 45 млн.м<sup>3</sup> поверхностных (дождевых) стоков, что на 11 млн. м<sup>3</sup> меньше, чем в 2005 г. Преимущественно они сбрасывались неочищенными (40,2 млн.м<sup>3</sup>). Стоков, очищенных до установленной нормы, спущено около 4,6 млн.м<sup>3</sup>, а недостаточно очищенных – 0,2 млн.м<sup>3</sup> [1].

В мае 2007 г. Европарламент одобрил Директиву об улучшении качества поверхностных вод и установлении допустимой концентрации пестицидов, тяжелых металлов и иных загрязнений в реках, озерах, водохранилищах и в других поверхностных водоемах.

Бытовые и промышленные стоки в Литве очищаются, а поверхностные – долгое время причислялись к сравнительно чистой группе вод. Однако современные кровли и уличные покрытия впитывают примерно в 10 раз меньше осадков по сравнению с натуральными. В связи с этим уменьшается инфильтрация, и загрязненные дождевые и талые поверхностные стоки по отводным системам за несколько десятков минут попадают в водоемы и оседают на дно. Отложения, у которых большое химическое потребление кислорода (ХПК 0,3-0,5 мгО<sub>2</sub>·л<sup>-1</sup>), при длительности биологического распада 25-30 суток могут значительно уменьшить концентрацию растворенного в водоеме кислорода и нарушить естественный процесс самоочищения. Для поддержания нормального режима очищения в водоеме необходимо ограничивать количество загрязнений, постоянно по-

ступающих с поверхностными стоками [2].

С выпадением осадков и таянием снега дождевые стоки накапливаются на поверхности земли и крышах строений. Эти стоки в большей или меньшей степени загрязнены растворившимися в воде атмосферными и минеральными веществами. Концентрация веществ в дождевых стоках зависит от санитарного состояния территории, интенсивности движения транспорта, степени загрязненности воздуха, ухода за окружающей средой и иных факторов. Считается, что загрязнение дождевых стоков в 5-10 раз меньше бытовых. Объем стоков зависит от дождевой (ливневой) интенсивности, продолжительности, а также времени впитывания воды в грунт [3].

Основными показателями, характеризующими загрязненность поверхностных стоков, являются: семисуточное биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>7</sub>), концентрации взвешенных веществ и нефтепродуктов. Взвешенные вещества, накапливающиеся в поверхностных водоемах, в наибольшей мере влияют на качество воды. Их концентрация колеблется от нескольких десятков миллиграммов до нескольких граммов в литре.

Хотя объемы неочищенных стоков, спускаемых в реки, сокращаются значительно (реконструируются старые и строятся новые очистительные сооружения), концентрации веществ ( $N_{\text{общ}}$ ,  $N-NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $P_{\text{общ}}$ ,  $PO_4^{3-}$ ) в воде за последние десятилетия уменьшаются медленно. Это указывает на то, что загрязнение рек происходит из-за отсутствия централизованной системы очищения производственных территорий и сельскохозяйственных полей.

Исследования поверхностной (дождевой) воды проводили на вновь построенном мясоперерабатывающем предприятии, где промышленные и бытовые стоки сбрасывались в городские очистительные сооружения, а поверхностные стоки с производственной территории по сетям канализации собирались и очищались в прудах биологической очистки.

Производственная территория мясоперерабатывающего предприятия находится под постоянным контролем: зимой с асфальтового покрытия убирается снег, весной – песок. Попадание же нефтепродуктов в окружающую среду здесь возможно только в случае неисправности транспорта.

Цель работы – определить степень загрязненности поверхностных вод на производственной территории предприятия, эффективность их очистки и влияние очищенных поверхностных (дождевых) стоков на окружающую природную среду.

#### **Методика и объект исследования**

Поверхностные стоки с территории предприятия собираются закрытыми коллекторами и спускаются в очистительные сооружения (рис. 1), состоящие из ловушки для нефтепродуктов и грязи и пруда биологической двухступенчатой очистки. Полезный объем ловушки для нефтепродуктов и грязи составляет 158 м<sup>3</sup>, а биологического пруда – 1500 м<sup>3</sup>. Последний является двухуровневым – 1/3 пруда (в зоне впадения стока) глубиной 1,8 м используется для осаждения пыли и песка, а 2/3 его (только 0,7 м) засажено водной растительностью (рогозом).



Рис. 1. Схема очистки поверхностных (дождевых) стоков

Анализы воды, согласно методике [4], выполнены в химико-аналитической лаборатории при Институте водного хозяйства Литвы. Количество общего азота, аммиачного, нитратного и нитритного азота, фосфатов и общего фосфора в пробах определялось спектрометрическим методом. Колориметрические анализы выполнены с помощью анализатора „FIA star 5012 system“.

Взвешенные вещества определялись с использованием стекловолнистого процеживателя, БПК<sub>7</sub> – путем расчета разницы количества кислорода через 7 инкубационных суток, нефтепродукты – спектрофотометрическим аппаратом ИКАН-1 инфракрасного излучения в Аналитическом отделе Центра агрохимических исследований Литовского института земледелия.

Дебиты поверхностных стоков с территории предприятия измерялись объемным методом. Для практического расчета годового количества поверхностных стоков  $W_m$ , сбрасываемых с производственных территорий предприятий, использовали следующую зависимость [5]:

$$W_m = 10 \cdot H \cdot F \cdot \alpha \cdot K, \text{ м}^3, \quad (1)$$

где  $H$  – среднее количество осадков (мм) за исследуемый период;  $F$  – площадь производственной территории (га);  $\alpha$  – коэффициент поверхностного стока;  $K$  – коэффициент, равный 0,9 (при очистке дорог производственной территории от снега).

### Результаты исследований и обсуждение

Самым дождливым в период исследований был 2007 г., в течение которого выпало 113% многолетней нормы. Однако этот год был и самым теплым – среднесуточная температура на 1,8 °С превышала многолетнюю (рис. 2).



Рис. 2. Метеорологические условия в период исследования

Наиболее засушливым был 2005 г. – количество осадков составило 71% многолетней нормы, а температура воздуха превышала на 0,9 °С многолетнюю. В 2004 и 2006 гг. осадков было также меньше нормы (соответственно 94 и 79%), а среднесуточная температура воздуха тоже была выше многолетней нормы (соответственно 0,8 и 1,5 °С).

Поскольку кровли и асфальтовые покрытия не впитывали дождевую воду, то почти все количество осадков дождевой канализацией сбрасывалось в систему очистки. Наибольший поверхностный сток на территории предприятия образовался в 2007 г., когда количество осадков составило 19470 м<sup>3</sup>. Наименьший поверхностный сток отмечался в 2005 г. – 12218 м<sup>3</sup>. За период исследований более всего осадков выпало в теплое время: в 2004, 2005, 2006 гг. в августе, соответственно 94, 76, 101 мм, и в 2007 г. в июле – 118 мм. В этот период установлен самый большой объем поверхностного стока: соответственно 2917, 2346, 3118 и 3640 м<sup>3</sup> в месяц. Наименьшее количество осадков приходилось на первую половину каждого года, например, в апреле 2004 г. – 11, в феврале 2005 г. – 15, в апреле 2006 и 2007 гг. соответственно 7 и 16 мм, поэтому объем поверхностных стоков составлял, соответственно, 343, 394, 216 и 488 м<sup>3</sup> в месяц.

На основе полученных результатов установлена зависимость объема стоков с территории предприятия от количества осадков:

$$y = 30,941x - 73,89, \quad (2)$$

где  $y$  – объем поверхностных стоков, м<sup>3</sup>;  $x$  – количество осадков, мм.

( $r = 0,98$ ;  $n = 47$ ;  $F_{\text{факт}} = 481,2 > F_{\text{теор}} = 2,0$ ).

Основными показателями загрязнения поверхностных стоков являются взвешенные вещества, биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>7</sub>) и углеводороды нефти.

В Регламенте об упорядочении поверхностных стоков (2007 г.) указана предельная моментная концентрация взвешенных веществ в стоках – 50 мг·л<sup>-1</sup> [6]. Как видно из рис.3, моментные концентрации веществ (от 68 до 220 мг·л<sup>-1</sup>) превышают ПДК в стоках, стекающих с территории предприятия.

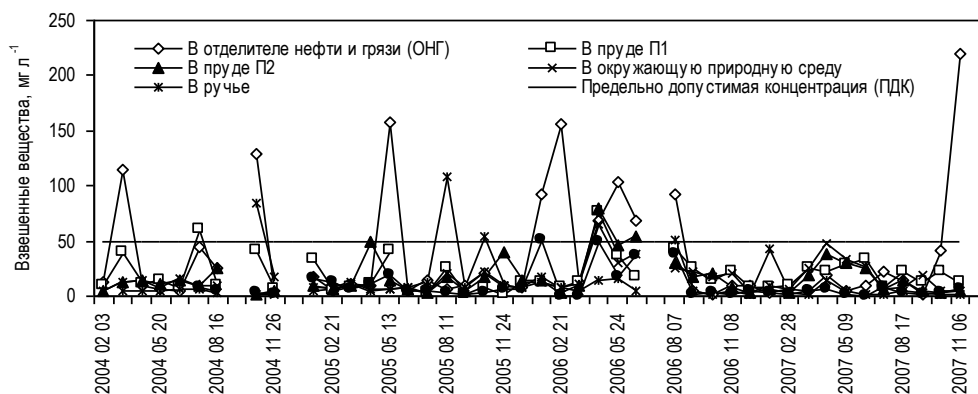


Рис. 3. Изменение количества взвешенных веществ в поверхностных сточных водах предприятия

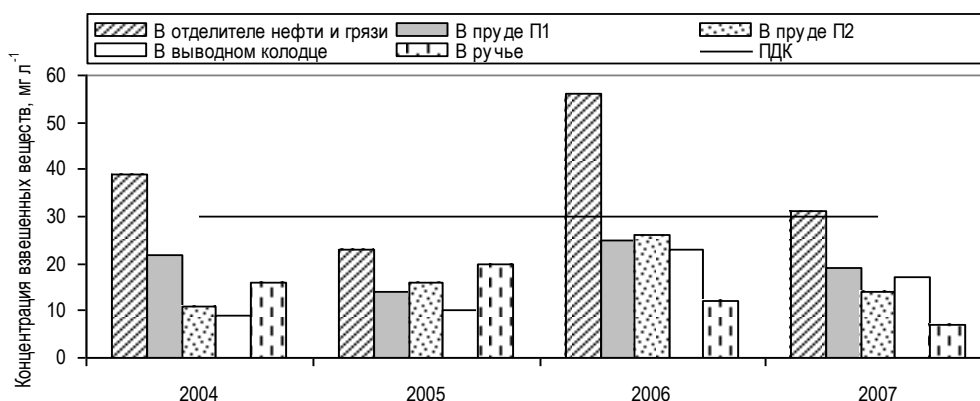


Рис. 4. Среднегодовые концентрации взвешенных веществ в поверхностных (дождевых) стоках предприятия на различных уровнях очистки

В стоках, прошедших все уровни очистки, количество взвешенных веществ уменьшилось и в основном соответствовало установленным требованиям, за исключением 19 апреля 2006 г., когда концентрация их достигала 66 мг·л<sup>-1</sup>.

Согласно вышеупомянутому Регламенту, среднегодовая концентрация взвешенных веществ не должна превышать 30 мг·л<sup>-1</sup>. Из рис. 4 видно, что превышение ПДК в поверхностных стоках территории предприятия наблюдалось в 2004, 2006 и 2007 гг.

Пруды биологической очистки выполняли свою функцию и в ручей сбрасывались очищенные поверхностные стоки. Концентрации взвешенных веществ в стоках после очистки уменьшились, соответственно, на 78, 56, 59 и 45% по годам и были ниже ПДК.

В 2004 и 2005 гг. качество воды после очистки было лучше, чем в ручье: концентрации взвешенных веществ были в 2 раза ниже нормы. Причем, в 2006 и 2007 гг., наоборот, в сбрасываемых после очистки стоках концентрации взвешенных веществ были в 2 и в 2,4 раза выше, чем в ручье, но они все равно не превышали ПДК.

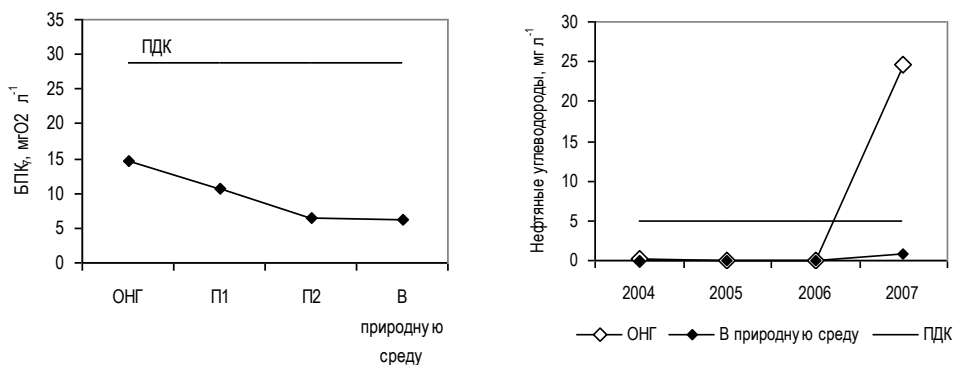
Загрязнение поверхностных стоков органическими соединениями находится в прямой зависимости от взвешенных веществ. Известно, что до 90% органических веществ, определяющих БПК<sub>7</sub>, являются взвешенными, а загрязнение другими загрязнителями, к которым относятся нефтепродукты и тяжелые металлы, носит случайный характер. С помощью корреляционного анализа установлено, что большое количество взвешенных веществ не только увеличивает органическое загрязнение поверхностных (дождевых) стоков предприятия, но и оказывает влияние на содержание других химических элементов (табл. 1).

Среднее значение содержания органических веществ за исследованный период было самым высоким на начальном этапе системы очистки, хотя оно оставалось ниже ПДК на 51%, а затем на каждом уровне очистки происходило дальнейшее их уменьшение: в ОНГ – 28, в П1 – 40, в П2 – 2% (рис. 5).

**Таблица 1. Характеристики связи взвешенных веществ (x), органических и минеральных соединений (y) в поверхностных (дождевых) стоках предприятия**

Элемент	Форма связи	г	t <sub>факт</sub>	t <sub>теор 95 %</sub>	n
БПК <sub>7</sub>	$y = 0,4016x - 0,3106$	0,70	8,97	2	44
N <sub>общ</sub>	$y = 0,067x + 1,1302$	0,60	3,96	2	44
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	$y = 0,029x + 0,0189$	0,58	5,63	2	44
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	$y = 0,0003x + 0,1949$	0,06	0,42	2	44
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$y = -0,0174x + 5,461$	0,13	0,84	2	44
P <sub>общ</sub>	$y = 0,009x - 0,0231$	0,65	7,43	2	44
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	$y = 0,0007x + 0,0194$	0,65	7,20	2	44

Примечание. Согласно критерию Стьюдента t, значения корреляционных связей достоверны, если t<sub>факт</sub> > t<sub>теор 95 %</sub>.



**Рис. 5. Изменение БПК<sub>7</sub> и содержания нефтяных углеводородов в поверхностных (дождевых) стоках по стадиям очистки**

В пробах поверхностных стоков, сбрасываемых в окружающую природную среду (ручей), концентрации нефтяных углеводородов колебались от 0,02 в 2006 г. до 0,82 мг·л<sup>-1</sup> в 2007 г. и были от 250 до 6 раз меньше, чем ПДК.

Нефть и ее продукты являются наиболее распространенными и опасными загрязнениями почв и водоемов. Их состав меняется под воздействием окружающей среды, а сообщества природных микроорганизмов полностью расщепляют эти продукты только за очень длительный период [7, 8].

Три года подряд в стоках с производственной территории мясоперерабатывающего предприятия содержание нефтепродуктов не превышало ПДК (0,17; 0,06 и 0,06 мг·л<sup>-1</sup>). Однако из-за работ по реконструкции в начале 2007 г., когда на территории предприятия работала наемная техника, количество нефтепродуктов в дождевых стоках возросло, и среднегодовая концентрация составила 24,6 мг·л<sup>-1</sup>, т.е. в 4,9 раза превышала ПДК. Однако в стоках, прошедших через очистные сооружения, загрязнение снизилось на 97%, и составило при спуске в ручей всего лишь 0,82 мг·л<sup>-1</sup>.

Средние концентрации общего азота и его форм в стоках были незначительными. В принимающем колодце установлены концентрации намного меньшие, чем ПДК для стоков, сбрасываемых в окружающую природную среду: общего азота – в 7,5; нитритов

Таблица 2. Показатели эффективности очистки дождевых стоков

Показатели	Концентрация, мг л <sup>-1</sup>				ПДК	Эффективность очистки, %		
	перед очисткой	после очистки в ОНГ	после очистки в П1	после очистки в П2		ОНГ	П1	П2
Взвешенные вещества	$\frac{220-1,2}{37}$	$\frac{76-1,2}{19,9}$	$\frac{79-1,6}{17}$	$\frac{66-1,4}{15}$	30,0	46	54	59
БПК <sub>7</sub>	$\frac{187-0,81}{14,7}$	$\frac{123-1,3}{10,6}$	$\frac{26-1,8}{6,4}$	$\frac{26,0-2,2}{6,3}$	28,75	28	56	57
Нефтепродукты	$\frac{98-0,0}{6,2}$	-	-	$\frac{3,14-0,0}{0,2}$	5,0	-	-	97
N <sub>общ</sub>	$\frac{40,8-0,5}{3,7}$	$\frac{11,0-0,69}{2,7}$	$\frac{12,9-0,7}{2,8}$	$\frac{9,0-0,74}{2,7}$	30,0	27	24	27
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	$\frac{17,2-0,0}{1,1}$	$\frac{5,7-0,002}{0,9}$	$\frac{2,37-0,001}{0,5}$	$\frac{5,2-0,001}{0,6}$	5,0	18	54	45
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	$\frac{0,79-0,01}{0,2}$	$\frac{0,92-0,0}{0,2}$	$\frac{0,98-0,01}{0,2}$	$\frac{0,98-0,01}{0,2}$	5,0	0	0	0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$\frac{27,9-0,0}{4,8}$	$\frac{22,6-0,0}{3,3}$	$\frac{47,4-0,0}{6,1}$	$\frac{29,7-0,0}{5,4}$	100,0	31	-27	-12
P <sub>общ</sub>	$\frac{4,7-0,011}{0,32}$	$\frac{0,79-0,036}{0,2}$	$\frac{1,5-0,025}{0,16}$	$\frac{0,67-0,023}{0,14}$	4,0	38	50	56
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	$\frac{0,36-0,0}{0,05}$	$\frac{0,23-0,001}{0,03}$	$\frac{0,116-0,0}{0,02}$	$\frac{0,09-0,0}{0,02}$	0,2	40	60	60

Примечание: в числителе наибольшее и наименьшее значения концентрации, в знаменателе – среднее.

– в 25, нитратов – в 55,5, аммиачного азота – в 4,5 раза (табл. 2). Протекая через пруды биологической очистки, стоки частично очистились от азота и его соединений.

В окружающую природную среду общего азота попало на 27% меньше, чем в принимающий колодец, аммиачного азота – меньше на 45%. Количество нитритов и нитратов незначительное, поэтому эффект их очистки не получен, но содержание этих соединений в колодце, выводящем стоки в окружающую среду, были соответственно в 25 и 18 раз меньшим, чем ПДК. По литературным данным [9, 10], очистка более эффективна при поступлении в пруды более загрязненных стоков.

Количество общего фосфора и фосфатов после очистки также уменьшается. В воде, вытекающей в окружающую природную среду, количество этих элементов составляет, соответственно, 56 и 60% от первоначально поступивших в систему очистки с территории производственного предприятия.

### Выводы

1. Установлено, что поверхностный сток с производственной территории мясоперерабатывающего предприятия больше всего загрязняется взвешенными веществами, среднее содержание которых за годы исследований составило 37,0 мг·л<sup>-1</sup>. Однако уже на первой стадии очистки (в отделителе нефти и грязи) количество этих веществ уменьшилось на 46%, т.е. до 20 мг·л<sup>-1</sup>. Такая концентрация соответствует природоохранным требованиям. В поверхностных стоках, сбрасываемых в окружающую среду, количество взвешенных веществ составило 15 мг·л<sup>-1</sup>.

2. Наилучший эффект получен при очистке углеводородов нефти (97%). Средняя концентрация нефтепродуктов в поверхностных водах, выходящих в окружающую природную среду, составила 0,2 мг·л<sup>-1</sup>, или в 25 раз меньше, чем ПДК.

3. В биологических прудах фосфаты были удалены на 60%, взвешенные вещества – на 59, органические загрязняющие вещества – на 57, общий фосфор – на 56%. Количество общего азота здесь уменьшилось на 27, а аммиачного – на 45%. Эффект очистки от нитратов и нитритов не получен.

4. Отрицательного влияния на окружающую среду стоки с производственной территории не оказывают. Концентрации химических элементов ( $N_{\text{общ.}}$ ,  $N-NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $P_{\text{общ.}}$  и  $PO_4^{3-}$ ) в поверхностных стоках производственной территории предприятия очень незначительны (меньше ПДК в 2-21 раз).

#### Литература

1. Aplinkos būklė 2006. [http://193.219.133.6/aaa/pranesimai/aplinkos\\_bukle/vanduo.html](http://193.219.133.6/aaa/pranesimai/aplinkos_bukle/vanduo.html).
2. Jakubauskas T., Račys V. Paviršinių nuotekų valymo laipsnio nustatymo metodika. // Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba. – 1997. – Nr. 2 (5). – P. 42–47.
3. Burinskienė M. ir kt. Miestotvarka. – Vilnius: Technika, 2003. – 399 p.
4. Unifikuoti nuotekų ir paviršinio vandens kokybės tyrimų metodai. 1 dalis. Vilnius: AAM leidybos biuras, 1994. – 68 p.
5. Dėl aplinkosaugos reikalavimų paviršinėms nuotekoms tvarkyti. LR AM ir ŽŪM 2003 m. gruodžio 24 d. įsak. Nr. 687. Valstybės žinios, 2004, Nr. 10-289.
6. Dėl nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo pakeitimo. LR aplinkos ministro 2007 m. spalio 8 d. įsak. Nr. D1-515. Valstybės žinios, 2007, Nr. 110-4522.
7. Čipinytė V., Grigiškis S. Naftos ir jos produktų skaidymo naftą oksiduojančių mikroorganizmų asociacijomis tyrimas. // Aplinkos inžinerija. – 2000. T. 8. – Nr. 2. – P. 74-79.
8. Leahy J., Colwell R. Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. // Microbiol. Rev. – 1990. – Vol. 54. – No 3. – P. 305-315.
9. Aškiniš S. Buitinių nuotekų apsivalymo pratekančiuose tvenkinėliuose tyrimai. // Vandens ūkio inžinerija. – 2001, T. 16 (38). P. 68–75.
10. Gasiūnas V. Azoto šalinimo efektyvumas horizontaliosios filtracijos smėlio ir augalų filtruose. // Vandens ūkio inžinerija. – 2003. T. 23 (43). – 24 (44). – P. 79-83.

#### Summary

##### **Misevichiene S. Investigation of Treatment Efficiency of Surface Discharges from Plant Site and Their Impacts on the Environment**

It is found that treatment works of agriproduct processing plant have treated surface discharges from oil products in the best possible way (by 97%). Amount of Ntotal in biological treatment ponds reduced by 27%, and ammonia N – by 45%. There was no effect from nitrate and nitrite treatment, because concentration of these elements was very low in rainfall run-offs. The water was drained clean into environment; concentration of chemicals in treated surface (rainfall) run-offs was below permissible level by 2-21 times.

Поступила 13 января 2009 г.