



УДК 504.052;504.054 ; 504.4.054; 504.4.062.2

## Хроматографический вариант интегрально-сорбционного метода контроля аварийных сбросов

Веницианов Е.В., Звезденкова Г.А.

*ФГБУН Институт водных проблем РАН, Москва*

Поступила в редакцию 25.11.2017 г.

Рассмотрены два варианта идентификации аварийных неконтролируемых сбросов загрязняющих веществ в сточные воды и водные объекты, когда заранее не известны масса загрязняющего сброса и его время. В случае сброса в водный объект также не известно место сброса. Первый вариант – создание системы автоматизированных постов аварийного мониторинга, работающих в дискретном режиме. Она дает возможность идентифицировать часть сбросов, удовлетворяющих требованиям точности определения, т.е. является риск-ориентированной системой. Методом Монте-Карло рассчитана обеспеченность, т.е. вероятность идентификации сбросов при известной точности определения и периодичности измерений. Второй вариант основан на интегрально-сорбционном методе идентификации сбросов с использованием сорбционного многосекционного патрона, позволяющего также идентифицировать сбросы загрязняющих компонентов.

**Ключевые слова:** сорбция, мониторинг, загрязняющие вещества, динамика, моделирование, оптимизация.

## Chromatographic opportunity of the integrated sorption method for control of emergency resets

Venitsianov E.V., Zvezdenkova G.A.

*The Institute of Water Problems of RAS, Moscow*

Two options were considered identification emergency uncontrolled discharge of pollutants into the wastewater and water facilities, when not known in advance the pollutant discharge and its time. In the case of discharge into a water body also do not know the place of discharge. The first option – the creation of a system of automated stations alarm monitoring, operating in discrete mode. It allows you to identify the part of discharge that meets the requirements of accuracy, i.e. it is a risk-oriented system. Monte-Carlo, designed the security, i.e. the probability of identification of discharges with known accuracy and frequency of measurements.

This approach represents a new method of identification of chromatographic peaks under conditions of uncertainty of information: we do not know the number of the component in terms of mass transfer with constant velocity and kinetic peak dispersion; there is a statistically uncertain effect of interference (background, error of analytical determination) on the shape of the chromatographic curve. Under these conditions, the determination of all the peaks is impossible. It is a variant of stochastic chromatography. It is possible to evaluate the probability of determining the mass of the substances at the peak, the time position of its receipt in the stream.

In analytical chromatography the main requirement is a strict determinism of implementation. In practice, however, tasks are chromatographic in nature can be stochastic in nature. The proposed theory provides an answer to the question of quantitative assessment of probability of identification of the initial conditions.

The second option is based on the integral sorption method for identifying chromatographic discharges. Used multistage sorption cartridge is formed in which the distribution of the discharge of substances in the form of a peak. At the same time the concentration of the component that facilitates the analytical determination of the concentrations in the filter sections. It also raises the probability of error in determining the

concentrations in sections, and hence determine the initial conditions for the discharge of substances into water sources

**Keywords:** sorption, monitoring, contaminant, dynamics, modelling, optimization

## Введение

Основными источниками загрязнения водных объектов во многих случаях является неконтролируемый сток с территорий. Трудности регулирования этого стока связаны с отсутствием прямого контроля его поступления в водные объекты и апробированных технологий охраны вод от этого стока. Отсутствие соответствующих форм контроля для выявления неконтролируемых сбросов загрязняющих веществ является основной причиной широкого их распространения и высокого уровня скрытности такого рода правонарушений.

Залповые сбросы – важный компонент неконтролируемого загрязнения вод. Например, в России в год отмечают около 20 тысяч нефтяных аварийных сбросов. Для залповых сбросов возникают следующие основные задачи: идентификация аварийного сброса, местоположения створа, объема и времени сброса. Возможны два основных варианта решения этой проблемы:

- размещение сети автоматических станций мониторинга загрязняющих веществ, работающих в непрерывном режиме по руслу реки,
- размещение сети приборов контроля на потенциальных источниках сосредоточенных сбросах.

## Задача 1. Создание системы мониторинга аварийных сбросов

Государственный мониторинг водных объектов осуществляют, как правило, 7 раз в год в основные фазы водного режима [1]. При такой частоте наблюдений контроль кратковременных сбросов практически невозможен. Кроме того, всего в настоящее время пробоотбор происходит примерно в 3,5 тыс. створов. Общая протяженность крупных (с длиной более 500 км каждая) и средних (200-500 км) рек России составляет 610 тыс. км. Среднее расстояние между створа только на этих реках составляет более 170 км. Очевидно, что при таком расстоянии между створами и периодичности измерений существующая государственная система мониторинга не может решать задачи идентификации аварийных сбросов. Необходимо ставить вопрос о создании аварийной системы, которая функционирует в развитых странах.

Система оперативного (импактного) мониторинга (АМ) решает частную, но практически важную задачу – идентифицировать аварийные сбросы загрязняющих веществ (ЗВ) в водный объект, то есть определить, где и когда произошел сброс ЗВ, а также мощность сброса – массу ЗВ в сбросе.

Аварийный сброс производится в неизвестное (во всяком случае, контролирующим органам) время. Масса выброса тоже неизвестна. Но выброс производится залпом, т.е. в короткое время в водный объект поступает некоторое количество ЗВ.

По мере продвижения аварийного сброса по реке происходит его размытие. Постепенно концентрация в максимуме «пика» убывает. Математически распространение пика его форма по мере его продвижения по реке приближается к кривой Гаусса:

$$C(x, t) = \frac{M}{2S\sqrt{\pi D(t-t_0)}} \exp\left\{-\frac{[(x-x_0)-V(t-t_0)]^2}{4D(t-t_0)}\right\} \quad (1)$$

где  $M$  – масса ЗВ при сбросе,  $V$  – скорость потока в реке,  $S$  – площадь поперечного сечения русла,  $x, t$  – расстояние и время,  $x_0, t_0$  – координата сечения и момент времени сброса,  $D$  – коэффициент дисперсии в реке (все размерности очевидны и взяты в одной системе счисления). Для простоты принимаются все параметры ( $M, V, D, S$ ) – постоянными. Это упрощение не принципиально и усложнение постановки только усложнит изложение принципа решения задачи.

Для проектирования системы АМ нами предложен способ, использующий метод Монте-Карло, известный при решении многих задач [2]. Рассматривается участок реки длиной  $l$ . Координаты створов потенциальных аварий (переходы через реки, сбросы сточных вод предприятий, хранилища нефти и пр.) обозначим  $x_{ик}$ , где  $k$  – номер сброса меняется от 1 до  $K$ . Какие возможности имеются для создания системы импактного мониторинга (СИМ)?

Прежде всего, использование автоматических постов (АП) гидрохимического контроля. В качестве примера приведем характеристики системы, разработанной Компанией «SEBA Hydrometri» (Германия) совместно с ИВП РАН, которая обеспечивает возможность определения 12 параметров с периодичностью не менее 1 раза в минуту (табл. 1).

Таблица 1. Показатели состояния водных объектов, контролируемые АП мониторинга.

№ п/п	Измеряемые показатели	Диапазон измерения	Погрешность измерения	Разрешающая способность
Гидрологические показатели				
1.	Глубина	0-30 м	0.1%	0,1 м
2.	Скорость течения	0.1-5 м/с	10%	0.1 м/с
3.	Направление течения	0-360°	3%	5°
Показатели нефтегенного загрязнения				
4.	Содержание углеводородов	0.025-50 мг/ дм <sup>3</sup>	10%	0.025 мг/ дм <sup>3</sup>
5.	Радиоактивность ( $\gamma$ )	0-1000 мкР/ч	10%	5 мкР/ч
6.	Удельная электропроводимость	1-10 <sup>3</sup> мСм/см	0.5-5%	1-10 мСм/см
Некоторые другие показатели				
7.	Температура	0-40° С	0,1%	0.1°С
8.	pH	0-14 ед.	0,1 ед.	0.1 ед.
9.	Eh	-1600– +1600 мВ	10 мВ	0.1 мВ
10.	Содержание растворенного O <sub>2</sub>	0-20 мг/дм <sup>3</sup>	10-20%	0.1 мг/дм <sup>3</sup>
11.	Мутность	0,1-10 <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	5-10%	0.1-10.0 мг/дм <sup>3</sup>

Максимум концентрации пика перемещается со скоростью речного потока  $V$ , а ширина «пика» возрастает пропорционально  $\sqrt{t}$ . Эти простые измерения, выполняемые по концентрационной кривой, фиксируемой АП, позволяют рассчитать время, которое требуется «пику», чтобы из источника загрязнения дойти до поста. Зная скорость реки (точнее, время добегаия), можно оценить и положение потенциального источника. Если пренебречь деструкцией вещества, что допустимо для большинства ЗВ при относительно небольших временах добегаия, то с некоторой погрешностью можно найти массу сброса, определив площадь «пика».

Сброс загрязнения происходит в случайный, заранее неизвестный момент времени. Мощность сброса тоже не известна. Если бы измерялся сброс без учета фоновой концентрации и с любой точностью, то идентифицировать его было бы просто: это гауссова кривая и ее площадь равна мощности сброса, а положение пика по-

звояет при известной скорости потока в реке пересчетом найти положение точки сброса. В чем трудности решения задачи идентификации источника сброса?

Во-первых, происходит дисперсия сброса, т.е. по мере продвижения «облака загрязнения» по течению профиль концентрации «размывается» и при достаточном удалении от источника концентрация может стать соизмеримой с фоновой концентрацией в реке, когда достоверно различить сброс не удастся.

Во-вторых, по условиям Методики по расчету допустимых сбросов (НДС) контрольным створом для оценки состава сточных вод в сбросе является створ, расположенный в 1 км ниже створа, где осуществляется водоотведение. При этом теряется точность определения точки максимума концентрации и площади «пика». Кроме того, сбросы могут налагаться один на другой.

Таким образом, АП не всегда может идентифицировать источник с достаточной точностью. Более того, какие-то сбросы может вообще «не заметить». Требуется введение понятий «достоверность системы мониторинга».

*Достоверность* (обеспеченность) системы АМ определяется как вероятность идентификации сброса для проектируемой или существующей системы при заданной точности решения обратной задачи идентификации. Например, при заданной точности идентификации в 0.1 обеспеченность, равная 0.95, означает, что в среднем не определяется с заданной точностью каждый двадцатый сброс.

Повысить обеспеченность можно путем увеличения числа АП. Теоретически идеально иметь столько станций, сколько источников, расположив станции непосредственно ниже сброса. Этому препятствуют две причины: во-первых, это дорого. Во-вторых, по условиям Методики по расчету НДС контрольным створом для оценки состава сточных вод в сбросе является створ, расположенный в 1 км ниже створа, где осуществляется водоотведение.

Более того, при достаточной чувствительности приборов контроля число АП может быть значительно ниже, чем число источников сброса.

При компьютерном проектировании системы оперативного мониторинга используется игровой метод, как в системах массового обслуживания, – метод Монте-Карло.

Последовательность действий:

- Для заданной конфигурации источников загрязнения варьируется число  $N_c$  станций (АП) и их размещение (рис. 1).

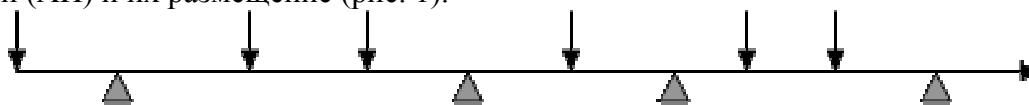


Рис. 1. Схема размещения автоматических постов

- Разыгрываются ситуации со сбросами: сброс совершается в случайное время и имеет случайную мощность. Используется решение (1).
- Для каждого сброса производится наложение на концентрацию в соответствии с решением (1) фоновой концентрации, которая также подчиняется случайному закону.
- Решается обратная задача идентификации сброса, которая может иметь или не иметь решения (при заданной точности измерения концентраций).
- Рассчитывается точность идентификации, если обратная задача имеет решение. Для этого сравнивается решение обратной задачи с известными параметрами разыгрываемого сброса.
- При большом числе испытаний определяется обеспеченность системы (сколько сбросов «не заметили»).
- Затем число постов увеличивается на 1.

### Правила установки АП:

– Пост можно размещаются на расстоянии  $\Delta_c$  ниже по течению от источника ( $\Delta_c=0.5-1.0$  км). Если расстояние между двумя источниками меньше  $\Delta_c$ , то АП можно ставить ниже нижнего (из этих двух) источника на то же расстояние  $\Delta_c$ .

– Один пост ставится обязательно ниже последнего источника, т.е. с координатой  $l+\Delta_c$ . Следовательно, число постов удовлетворяет неравенству  $N_c \leq N_n$ . Может учесть ситуацию, когда установлен всего один пост ниже последнего источника.

– При поиске оптимального числа постов начинаем с  $N_c=1$  (это будет АП с координатой  $l+\Delta_c$ ) и далее увеличиваем их число пошагово на 1.

– Поскольку координаты потенциального размещения АП известны, то размещение постов делается без разыгрывания, но так, чтобы число источников, приходящихся на 1 пост, было примерно одинаково. Пример размещения станций – на рисунке 1 (пост изображен треугольником).

Имитация сброса ЗВ. Сброс – случайное событие. Разыгрываются случайным образом (методом Монте-Карло):

- номер источника (от 1 до  $N_n$ );
- момент сброса  $t_s$  (задается характерный интервал времени между сбросами  $\tau$ );
- мощность (масса) сброса  $M_s$  (задается характерная мощность сбросов  $\mu$ ).

При этом заранее устанавливается общее количество сбросов  $N_z$ .

Форма сброса при продвижении по руслу дается уравнением (1), где задаются площадь сечения  $S$  (размерность  $m^2$ ), коэффициент дисперсии  $D$  ( $m^2/c$ ), скорость течения  $V$  ( $m/c$ ), а также параметры работы станции  $\tau_n$  – интервал времени между измерениями ( $c$ ),  $\delta$  – погрешность измерения (фон + приборная погрешность) имеет размерность концентрации  $г/м^3=мг/дм^3$ .

*Селекция сброса.* Для «осуществленного» сброса рассчитывается максимальная концентрация в «пике» по формуле (2):

$$C_{\max} = \frac{M}{2S\sqrt{\pi D(\Delta x_u / V)}} \quad (2)$$

где  $\Delta x_u$  – расстояние от источника сброса (с координатой  $x_{uj}$ ) до поста измерения  $j$ .

Если  $C_{\max} < \delta$ , то эта станция, а также все ниже расположенные, этот сброс «не заметят». Они будут воспринимать сброс как случайные колебания концентрации в реке. Если выполняется неравенство  $C_{\max} < \delta$ , то в таблице результатов испытания пишем «отказ». Сброс не может быть определен.

*Расчет моментов измерений.* Определяется время добегания от источника до поста наблюдения  $\Delta t_n = \Delta x_n / V$ . Измерения проводятся в моменты времени до момента добегания и после него с заданным интервалом  $\tau_n$ .

*Учет «фона» и погрешности измерения.* Если  $C_{\max} > \delta$ , то можно использовать процедуру идентификации сброса. Но предварительно производится добавление к теоретической концентрации по формуле (1) суммарной погрешности по формуле:

$$\tilde{C}(x, t) = C(x, t) + 2r\delta \quad (3)$$

где  $C(x, t)$  – концентрация по формуле (1),  $\tilde{C}$  – концентрация с учетом погрешностей,  $r$  – случайное число в интервале  $[0; 1]$ ,  $\delta$  – среднее значение фона и погрешности измерения (среднее второго слагаемого в (3) равно  $\delta$ ). Пик загрязняющего вещества представлен на рис. 2.

*Определение параметров сброса по результатам измерений.* Измеренные концентрации сброса с учетом случайного фона формируют «пик» загрязняющего вещества (рис. 2). Масса вещества, соответствующая одному измерению, равна:

$$\Delta m_i = \tilde{C}_i S \tau_n V$$

где  $\tilde{C}_i$  – соответствует каждому моменту измерения (рис. 2).

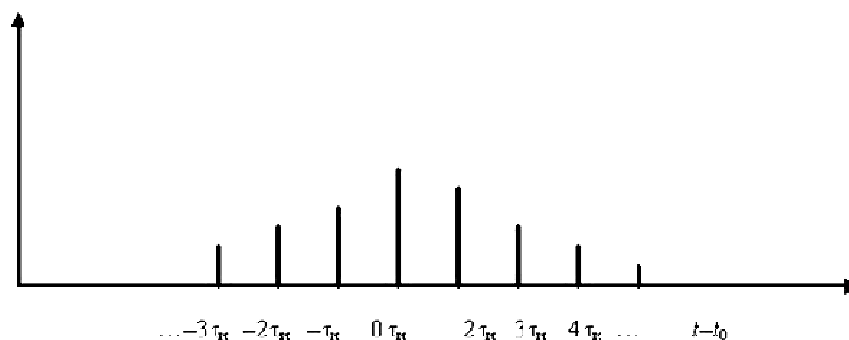


Рис. 2. Пик загрязняющего вещества

Когда прерывается счет по одному из критериев останова, производится определение массы сброса по измерению (она равна сумме элементарных масс). Очевидно, она будет отличаться от той массы  $M = m_i$ , которая была введена для расчета сброса по формуле (1).

Это измеренное количество  $m_{иi}$  заносится в таблицу измеренных значений. И далее сравнивается с заданной (разыгрываемой) мощностью сброса  $m_i$ .

Определение номера источника (или его координаты). Из измеренных значений определяется максимальная концентрация (с учетом добавленных погрешностей максимальная концентрация не обязательно совпадет с моментом  $t = 0$ ). Нужно найти такое значение  $k$ , при котором концентрация будет равна половине максимальной. Величина  $\Delta x$  находится из равенства:

$$\Delta x = V \Delta t_u \quad (4)$$

Время сброса находится по формуле:  $t_z = t_{\max} - \Delta t_u$ . Данные сводят в итоговую таблицу 2.

Таблица 2. Измеренные параметры сброса (решение обратной задачи)

Источник обнаружен (+) или нет (-)	Мощность сброса заданная $Mз$	Мощность сброса измеренная $Mи$	Координата источника заданная $x_з$	Координата источника измеренная $x_и$	Время сброса заданное $t_з$	Время сброса измеренное $t_и$	Оценка погрешн. по $\max(\epsilon_i)$ (+ или -)

Эта таблица является исходной для оценки эффективности работы системы мониторинга.

*Оценка эффективности работы системы мониторинга.* Задается некоторая величина допустимой безразмерной погрешности измерений  $\epsilon$ . Например,  $\epsilon = 0,10$ . В каждом испытании системы мониторинга (а это размещение постов, которое было проведено выше), с использованием таблицы находим в каждом сбросе погрешность определения. Такую проверку нужно делать только при обнаружении сброса (+). Надо дополнить таблицу тремя столбцами, в которые вносятся относительные погрешности идентификаций по формулам

$$\epsilon_m = |Mи - Mз| / |Mи + Mз|, \quad \epsilon_x = |x_и - x_з| / |x_и + x_з|, \quad \epsilon_t = |t_и - t_з| / |t_и + t_з|$$

Если максимальное значение из трех погрешностей превышает установленную точность, то итоговая оценка – «отказ». Проведя большое число испытаний, мы получаем оценку достоверности системы мониторинга как отношение общего числа

отказов (сумма отказов по второму и последнему столбцу таблицы) к числу испытаний.

Пример испытания проектируемой системы оперативного мониторинга. Выбраны следующие значения параметров для испытаний:

$l=100\ 000$  м (100 км);  $N_{и}=10$ ;  $V=0.5$  м/с = 1.8 км/час,  $M=1000$  г,  $S=1$  м<sup>2</sup>,  $D=1$  м<sup>2</sup>/с

Расстояние от источника сброса до поста ниже по течению от источника  $\Delta_c=1000$  м=1.0 км, характерный интервал времени для сбросов  $\tau = 86\ 400$  с (24 час), интервал времени между измерениями  $\tau_{и}=100$  с. Погрешность измерения (плюс «фон»)  $\delta=0.1$ . Допустимая погрешность 0.1 (таблица 3).

Таблица 3. Координаты источников (м)

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$X_i$	0	10000	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000	100000

На рисунке 3 показано размещение источников загрязнения и одного поста наблюдения. Протокол испытаний системы для 10 сбросов представлен в таблице 4.

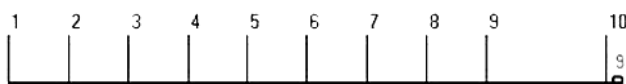


Рис. 3. Пример расчета при 10 источниках сброса и одной станции наблюдения. Источники обозначены вертикальными линиями, пост – красным кружком

Аналогично проводятся испытания при большем числе постов. Число испытаний равнялось 100 в каждой серии. В каждой серии испытаний вычислялась обеспеченность системы (доля отказов).

Таблица 4. Протокол испытаний для одного поста

№ сброса	Источ-ник обнаружен (+) или нет (-)	Мощн. сброса задан. $M_z$	Мощн. сброса измер. $M_{и}$	$\varepsilon_m$	Корд. источ. задан. $x_z$	Корд. источ. измер. $x_{и}$	$\varepsilon_x$	Время сброса задан. $t_z$	Время сброса измер. $t_{и}$	$\varepsilon_t$	Итог + или -
1	+	320	345	0.04	20000	18215	0.05	0	0	0	+
2	+	700	718	0.01	40000	38215	0.02	50112	166542	0.54	-
3	-										-
4	+	40	43	0.04	100000	98215	0.01	67392	63822	0.03	+
5	+	170	194	0.07	10000	8215	0.1	82944	259374	0.52	-
6	+	170	185	0.04	60000	58215	0.02	152064	228494	0.2	-
7	+	780	801	0.01	50000	48215	0.02	187488	283918	0.2	-
8	+	610	636	0.02	20000	18215	0.05	242784	399214	0.24	-
9	+	540	564	0.02	10000	8215	0.1	309312	485742	0.22	-
10	+	990	1008	0.01	70000	68215	0.01	310176	366606	0.08	+

Результаты оценки обеспеченности представлены на рисунке 4 и 5 для различных условий испытаний: определялась зависимость от числа постов при различных погрешностях, а затем от интервалов между измерениями.

При  $\delta=0.1$  достаточно 5 постов мониторинга, при  $\delta=0.5-7$  постов и при  $\delta=1-9$  постов. Это и есть необходимое число постов при заданной погрешности идентифи-

кации. Заметим также, что при достаточно частых измерениях достаточно двух постов, чтобы достичь обеспеченности 0.9.

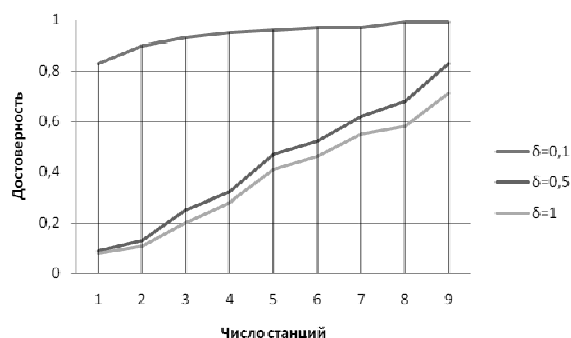


Рис. 4. Зависимость обеспеченности от числа постов (станций) при различных погрешностях идентификации

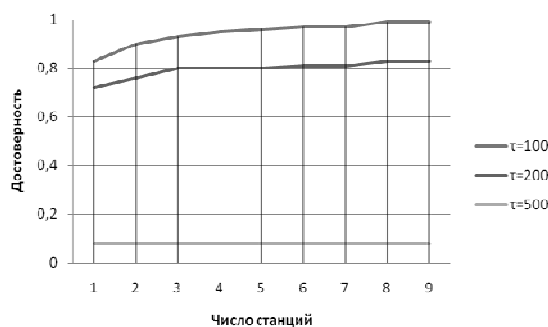


Рис. 5. Зависимость обеспеченности от числа постов (станций) при различных интервалах между измерениями

Оптимальная система мониторинга должна обеспечить нужную достоверность с минимальной стоимостью. Таким образом, представленная модель позволяет методом компьютерного моделирования определять оптимальное число постов наблюдения для обеспечения требуемой вероятности идентификации источника сброса, а также момента сброса и его мощности.

## Задача 2. Интегрально-сорбционный метод контроля аварийных сбросов

Рассмотрим второй вариант обнаружения залповых сбросов на основе интегрально-сорбционного метода [3]. В настоящее время продолжают исследования по поиску наиболее эффективной реализации этого метода, а именно по выбору сорбента, конструкции, анализу сорбированных загрязняющих веществ, обоснованию методов расчета требуемых характеристик залповых сбросов и др.

Рассмотрен метод расчета времени и массы сброса при залповом сбросе загрязняющих веществ на примере тяжелых металлов.

Применение сорбционных методов для концентрирования нормируемых микрокомпонентов, в частности, цветных и тяжелых металлов достаточно широко используется в аналитической химии природных вод. Предложены подходы, предусматривающие создание сорбционных накопительных устройств. Такое устройство представляет собой колонку с сорбционной загрузкой, которую помещают непосредственно в поток контролируемой воды (сточной или природной) с известной скоростью. Чтобы установить факты сверхнормативных сбросов загрязняющих веществ за весь контролируемый период необходимо определить суммарное содержание нормируемого компонента во всей отработанной загрузке  $M$ . Это количество при больших коэффициентах распределения  $\Gamma$  компонента в системе «сорбент – раствор» практически равно массе загрязняющего вещества в сточной воде  $C$ . Тогда среднее за контрольный период ( $t_c$ ) содержание этого компонента в контролируемом водном объекте равно значению:

$$C = M/V \quad (5)$$

где  $V$  – объем прошедшего через колонку сточной воды.

Если сорбционный слой в виде колонки поместить в поток контролируемой воды, то через некоторый промежуток времени (к моменту  $\tau_i$ ) в колонке сформируется распределение макрокомпонентов по слою. При этом точки фронта каждого из



компонентов будут перемещаться вдоль слоя ионита со скоростью, определяемой равновесными и кинетическими характеристиками сорбционного процесса. Эта ситуация подобна хроматограмме при разделении смеси веществ. Разумеется, это приближение можно использовать только при залповом сбросе ЗВ.

Скорость продвижения по колонне точек пика равна:

$$\frac{v}{\varepsilon + \Gamma} \quad (6)$$

где  $\varepsilon$  – порозность слоя сорбента;  $v$  – линейная скорость раствора (см/с).

По окончании работы колонки слой сорбента делится на порции, значительно меньшие по объему, чем объем всего слоя (в 10-15 раз). Далее проводится химический анализ состава каждой порции сорбционной загрузки. Необходимо определить массу загрязняющего компонента в каждой порции, на которую поделили колонку. Зная характеристики раствора и используемого ионообменника, т.е. величину коэффициента распределения  $\Gamma$ , а также определив по данным анализа расстояние, пройденное концентрационной зоной в форме пика, можно рассчитать момент его поступления на вход колонки и, тем самым, время поступления аварийного сброса соответствующего загрязняющего вещества в сточную воду.

Колонка при этом используется также в качестве накопительного и «запоминающего» устройства, Достоинствами рассматриваемого способа являются простота и доступность самого сорбционного устройства, легкость организации процесса, поскольку вместо многократного пробоотбора необходимо будет один раз в сутки или еще реже осуществлять замену отработанного накопителя. Такой контроль можно осуществлять автономно, независимо от потенциального нарушителя, с получением достаточно достоверной информации как в отношении количества и состава сверхнормативных сбросов, так и времени их поступления.

Следует отметить еще одно преимущество интегрально-сорбционных методов контроля, так как сорбционный накопитель по своей природе уже является концентратором контролируемых загрязняющих веществ.

Таким образом, способ контроля динамики загрязнения природных и сточных вод с использованием сорбционных накопителей представляется достаточно перспективным с практической точки зрения, из чего вытекает целесообразность его более детальной разработки и дальнейшей практической реализации.

Если загрязнение поступало не в виде залпового сброса, то распределение в сорбционной колонне будет иметь более сложную форму, отличную от кривой Гаусса. В этом случае также можно решать задачу идентификации методом регуляризации, описанном ранее [4].

## Заключение

Предложен способ проектирования системы аварийного (импактного) мониторинга (САМ) с неопределенными начальными условиями сброса загрязнения в форме пика (массы, времени и створа) с использованием метода Монте-Карло

Предложен способ оптимизации САМ с использованием понятия достоверности системы, т.е. вероятности идентификации аварийных сбросов для проектируемой системы при заданной точности идентификации.

При использовании интегрально-сорбционного метода представлен способ идентификации граничных условий сброса с использованием разборной многосекционной колонки.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-05-00842*

## Список литературы

1. Научные основы создания систем мониторинга качества природных поверхностных вод. Под ред. Г.М.Баренбойма, Е.В.Веницианова, О.П.Авандеевой. М. Изд-во Научный мир. 2016. 462 с.
2. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло. М. Наука. 1973. 378 с.
3. Веницианов Е.В., Тихонов Н.А., Звезденкова Г.А. // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2016. Т. 16. № 5. С. 724-733.
4. Веницианов Е.В., Тихонов Н.А., Трубецков Н.К. // *Водные ресурсы*. 1996. Т. 23. № 5. С.575-577.

## References

1. Scientific bases of creation of systems of monitoring the quality of natural surface waters, Edit. Barenboim G.M., Venitsianov E.V., Avandeeva O.P., M., Nauchny Mir, 2016, 462 p. (Rus)
2. Sobol I.M., Numerical methods Monte Carlo, M., Nauka, 1973, 378 p.
3. Venitsianov E.V., Tikhonov N.A., Zvezdenkova G.A., *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*, 2016, Vol. 16, No 5, pp. 724-733. (Rus)
4. Venitsianov E.V., Tikhonov N.A., Trubetzkov N.K., *Vodnye resursy*, 1996, Vol. 23, No 5, pp. 575-577.

**Веницианов Евгений Викторович** – д.ф.-м.н., профессор, заведующий лабораторией охраны вод, ФГБУН Институт водных проблем РАН, Москва

**Звезденкова Галина Александровна** - младший научный сотрудник лаборатории охраны вод ФГБУН Института водных проблем РАН, Москва

**Venitsianov Eugeny V.** - Doctor of Science (Physics and Mathematics), Professor, Head of the Laboratory Water Protection The Institute of Water Problems of RAS, Moscow, e-mail: [eugeny.venitsianov@gmail.com](mailto:eugeny.venitsianov@gmail.com)

**Zvezdenkova Galina A.** - Jr. research associate lab. Water protection, the Institute of Water Problems of RAS, Moscow, e-mail: [galayvdani-na@mail.ru](mailto:galayvdani-na@mail.ru)