МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)

Р Е К О М Е Н Д А Ц И И

Р 52.24.855–2016

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗОНЫ АВАРИЙНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ВОДОТОКАХ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОПЕРАТИВНОМ МОНИТОРИНГЕ

Ростов-на-Дону
2016

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНЫ Федеральным государственным бюджетным учреждением «Гидрохимический институт» (ФГБУ «ГХИ»)

2 РАЗРАБОТЧИКИ А.М. Никаноров, чл.-корр. РАН (руководитель разработки); И.П. Ластенко (ответственный исполнитель); Н.М. Трунов, канд. техн. наук; В.А. Циркунов

3 СОГЛАСОВАНЫ с Федеральным государственным бюджетным учреждением «Научно-производственное объединение «Тайфун» (ФГБУ «НПО «Тайфун») 21.10.2016 и Управлением мониторинга загрязнения окружающей среды, полярных и морских работ (УМЗА) Росгидромета 10.11.2016

4 УТВЕРЖДЕНЫ Заместителем Руководителя Росгидромета 11.11.2016

ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ приказом Росгидромета от 06.12.2016 № 561

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАНЫ ФГБУ «НПО «Тайфун» за номером Р 52.24.855–2016 от 21.11.2016

6 ВВЕДЕНЫ ВПЕРВЫЕ

7 СРОК ПЕРВОЙ ПРОВЕРКИ 2022 год

© Росгидромет, ФГБУ «ГХИ»

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Общие положения 4
5 Требования безопасности 7
6 Требования к квалификации персонала 7
7 Подготовка и проведение трассерных экспериментов 7
7.1 Основные положения натурного гидродинамического моделирования 7
7.2 Изучение особенностей водотока и разработка схемы эксперимента 8
7.3 Оборудование створа наблюдения 10
7.4 Подготовка трассера, введение его в водоток и отбор проб 12
8 Количественное определение трассера в отобранных пробах и обработка полученной информации 13
8.1 Схема обработки проб трассерного эксперимента 13
8.2 Фильтрование проб 13
8.3 Микроскопирование 14
8.4 Определение основных гидродинамических параметров участка водотока 15
9 Эксперименты по определению неконсервативности загрязняющих веществ 17
9.1 Основные положения натурного химико-биологического моделирования для определения неконсервативности загрязняющих веществ 17
9.2 Проведение мезокосменных экспериментов 17
10 Порядок работ в аварийный период 18
Приложение А (обязательное) Представление результатов трассерного эксперимента и эксперимента на мезокосмах 20
Приложение Б (обязательное) Перечень необходимого оборудования, вспомогательных устройств, приборов, материалов для проведения полевых трассерных экспериментов 21
Приложение В (рекомендуемое) Листинг пользовательской VBA функции «Exp_Dispersion» для расчета значения σ_t^2 22
Библиография 23

Введение

Основанием для разработки настоящих рекомендаций является острая необходимость развития и совершенствования государственной системы мониторинга за аварийным загрязнением водных объектов в зонах влияния потенциально опасных промышленных объектов. В соответствии с [1] органы Росгидромета, в случае аварийного загрязнения водных объектов, обязаны обследовать зоны распространения аварийного загрязнения, производить отбор и анализ проб поверхностных вод вне санитарно-защитной зоны предприятия и составлять оперативные прогнозы распространения зоны аварийного загрязнения.

Наиболее сложным элементом комплекса работ по обеспечению оперативного мониторинга аварийного загрязнения поверхностных вод, входящих в компетенцию Росгидромета, является оперативное прогнозирование распространения зоны загрязнения в водном объекте вследствие адвективного переноса загрязняющих веществ (ЗВ), расширения зоны загрязнения, обусловленного гидродинамической дисперсией, а также перенос и перемешивание ЗВ за счет турбулентной диффузии. Не менее сложным является и учет изменений концентрации неконсервативных ЗВ.

Этим определяется сделанный в настоящих рекомендациях выбор способов параметризации расчетных соотношений на основе натурных трассерных экспериментов и химико-биологических экспериментов в мезокосмах [2].

Методологической основой оперативного мониторинга аварийного загрязнения поверхностных вод является проведение упреждающих гидролого-гидродинамических и химико-биологических исследований. Такие экспериментальные исследования должны проводиться на всех потенциально опасных с точки зрения аварийного загрязнения участках водных объектов. Программы таких предварительных модельных исследований составляют на основе детального прогноза развития («сценария») аварийного процесса. На основе химико-биологического и гидролого-гидродинамического моделирования основных элементов «сценариев» развития аварийных процессов предполагается «воспроизведение» процессов в наиболее уязвимых местах экосистем и тем самым обеспечение приемлемой точности прогнозных расчетов. При этом особое внимание уделяется надежности количественных оценок основных прогнозных характеристик предполагаемого аварийного процесса: время добегания загрязненных вод до любого нижерасположенного створа наблюдений, коэффициент разбавления загрязненных вод и максимальные концентрации ЗВ в пятне загрязнения, коэффициент неконсервативности т.п.

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗОНЫ АВАРИЙНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ВОДОТОКАХ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОПЕРАТИВНОМ МОНИТОРИНГЕ

Дата введения – 2017–07–05
Срок действия – до 2022–07–05

1 Область применения

Настоящие рекомендации устанавливают порядок прогнозирования распространения загрязнения на аварийноопасных участках водотоков с использованием результатов предварительных натурных модельных трассерных и экспериментов на мезокосмах. Объектом применения рекомендаций являются расположенные в зоне повышенного риска аварийного загрязнения малые и средние реки, имеющие выраженную структуру течений и подверженные реальному или потенциальному аварийному загрязнению.

Рекомендации предназначены для оперативно-производственных подразделений Росгидромета и организаций других ведомств определенных в [1], [3], осуществляющих проведение оперативного мониторинга аварийного загрязнения поверхностных вод в районах повышенного риска аварийного загрязнения водных объектов.

2 Нормативные ссылки

В настоящих рекомендациях использованы нормативные ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности

Р 52.24.627-2007 Усовершенствованные методы прогностических расчетов распространения по речной сети зон высокозагрязненных вод с учетом форм миграции наиболее опасных загрязняющих веществ

Р 52.24.734-2010 Организация и проведение наблюдений за состоянием и изменением качества поверхностных вод в чрезвычайных ситуациях

РД 52.24.309-2011 Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши

РД 52.24.634-2002 Уточнение местоположения створов (пунктов) наблюдений и режимов отбора проб на основе использования трассерных методов изучения гидродинамических характеристик водных объектов

РД 52.24.670-2005 Унифицированный метод определения острой токсичности проб поверхностных вод суши, содержащих взвешенные вещества

РД 52.44.2-94 Охрана природы. Комплексное обследование загрязнения природных сред промышленных районов с интенсивной антропогенной нагрузкой

Примечания

1 При пользовании настоящими рекомендациями целесообразно проверять действие ссылочных нормативных документов:

- национальных стандартов - в информационной системе общего пользования - на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году;

- нормативных документов Росгидромета и типовых нормативных документов - по РД 52.18.5 и дополнений к нему - ежегодно издаваемым информационным указателям нормативных документов.

2 Если ссылочный нормативный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим руководящим документом следует руководствоваться замененным (измененным) нормативным документом. Если ссылочный нормативный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

3.1 В настоящих рекомендациях использованы следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **аварийное загрязнение водных объектов:** Загрязнение, обусловленное различными чрезвычайными ситуациями на водных объектах, прежде всего аварийными сбросами загрязняющих веществ [4].

3.1.2 **аварийный сброс загрязненных вод:** Сброс загрязненных вод с превышением проектных или установленных предельно допустимых норм по расходу воды или по содержанию в ней одного или нескольких загрязняющих веществ (Р 52.24.627).

3.1.3 **вертикаль створа наблюдений:** Условная отвесная линия от поверхности воды (или льда) до дна в водоеме или водотоке, в пределах которой выполняют работы для получения данных о показателях состава и свойств воды (Р 52.24.627).

3.1.4 **внутриводоемные процессы:** Всевозможные процессы, происходящие в водном объекте, без детализации химических и биологических превращений.

3.1.5

водный объект: Сосредоточение природных вод на поверхности суши либо в горных породах, имеющее характерные формы распространения и черты режима.

[ГОСТ 19179–73, статья 6]

3.1.6

водоток: Водный объект, характеризующийся движением воды в направлении уклона в углублении земной поверхности.

[ГОСТ 19179–73, статья 15]

3.1.7 **высокозагрязненные воды:** Воды с повышенным содержанием одного или нескольких загрязняющих веществ, исключающим или существенно ограничивающим водопользование на водном объекте (Р 52.24.627).

3.1.8 **горизонт створа наблюдений:** Место на вертикали (по глубине водотока или водоема), на котором производят работы для получения данных о показателях состава и свойств воды (Р 52.24.627).

3.1.9

загрязняющее воду вещество: Вещество в воде, вызывающее нарушение норм качества воды.

[ГОСТ 17.1.1.01–77, статья 40]

3.1.10 **зона высокого загрязнения:** Участок водного объекта с высокозагрязненными водами.

3.1.11 **коэффициент неконсервативности:** Константа скорости разрушения в воде неконсервативных загрязняющих веществ, позволяющая дать количественную оценку самоочищающей способности водных объектов от их вредоносного воздействия [4].

3.1.12 **максимально загрязненная струя в створе водотока:** Масса воды с наиболее высоким содержанием загрязняющих веществ, занимающая определенную часть сечения водного потока (Р 52.24.627).

3.1.13 **мезокосм:** Пространственно изолированная часть исследуемой природной экосистемы, изолированная микроэкосистема, которая включает определенный объем исследуемой природной воды и соответствующую площадь донных отложений вместе с населяющими их биотическими сообществами [4].

3.1.14 **оперативный мониторинг:** Информационно-измерительная и предупредительная система, предназначенная для оперативного выявления (обозначения) опасных ситуаций, вызываемых аварийным загрязнением водных объектов или их участков.

3.1.15

самоочищение вод: Совокупность природных процессов, направленных на восстановление экологического благополучия водного объекта.

[ГОСТ 27065–86, статья 19]

3.1.16 **створ водотока (реки):** Условное поперечное сечение водотока, используемое для оценок и прогноза качества воды (Р 52.24.627).

3.1.17 **створ наблюдений:** Условное поперечное сечение, в пределах которой выполняют работы для получения данных о показателях состава и свойств воды.

3.1.18

сточные воды: Воды, отводимые после использования в бытовой и производственной деятельности человека.

[ГОСТ 17.1.1.01–77, статья 29]

3.1.19 **трассерный эксперимент:** Метод физического моделирования, позволяющий в условиях максимального приближения к натур-

ным изучать в водной среде различные гидродинамические, гидрохимические, гидробиологические процессы, обусловленные явлениями массопереноса и массобмена [4].

Примечание – Сущность метода заключается в визуализации с помощью специальных веществ-маркеров (трассеров) пространственных перемещений отдельных объемов жидкой среды относительно друг друга [4].

4 Общие положения

4.1 Для прогнозирования распространения зоны ЗВ и последующего использования в оперативном мониторинге аварийного загрязнения малых и средних рек рекомендуется проведение предварительных полевых экспериментальных работ с трассерами и мезокосмами на аварийно-опасных участках этих водных объектов. Целью экспериментальных работ является определение параметров математической модели, обеспечивающей оперативное проведение прогностических расчетов распространения пятна загрязнения при аварийном залповом выбросе.

4.2 Эксперименты для определения параметров математической модели проводят в безаварийный период в различные фазы гидрологического и сезонного циклов, что обеспечивает возможность надежного оперативного прогнозирования распространения пятна загрязнения в различные периоды времени без привлечения значительных вычислительных ресурсов.

4.3 Общая схема оперативного мониторинга аварийного загрязнения водотока представлена на рисунке 1.

4.4 Оперативный мониторинг применим в случае аварийного загрязнения малых и средних рек, где возможно проведение серии трассерных экспериментов с определением концентрации трассера в нескольких створах по всему живому сечению реки.

4.5 К основным характеристикам зоны аварийного загрязнения водных объектов, определяемым в безаварийный период, относятся:

- время добегания переднего фронта $T_{пф}$ – время, через которое передний фронт волны загрязнения достигнет заданного створа на участке максимально высоких скоростей течения (см. рисунок 2);
- время добегания зоны максимального загрязнения T_{max} – время, через которое максимальная концентрация загрязнителя пересечет створ наблюдения на участке максимально высоких скоростей течения (см. рисунок 2);
- время прохождения волны загрязнения ΔT – продолжительность прохождения высоких и экстремально высоких концентраций загрязняющего вещества через заданный створ;
- площадь живого сечения водотока в створе наблюдения ω;
- коэффициент неконсервативности ЗВ k;
- коэффициент продольной дисперсии D_x.

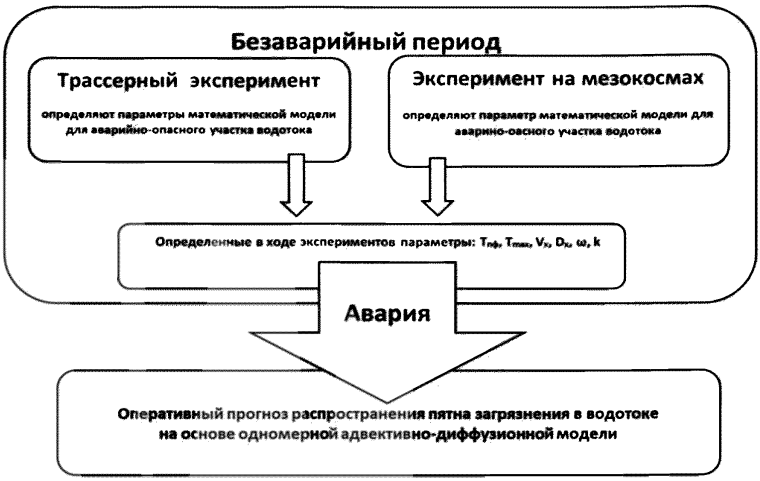


Рисунок 1 – Общая схема оперативного мониторинга аварийного загрязнения водотока

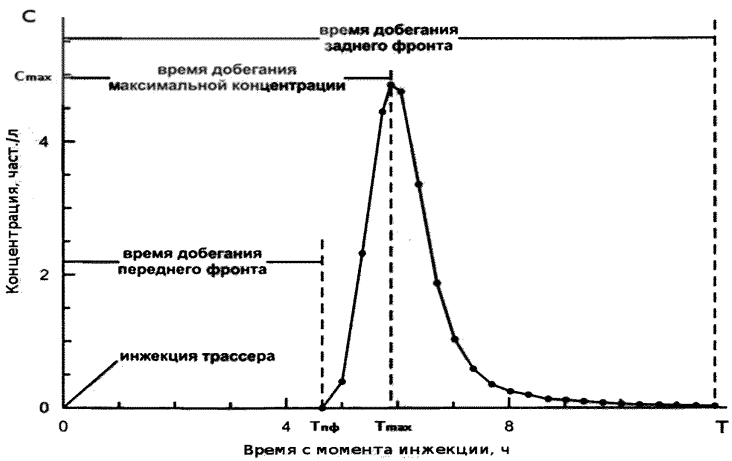


Рисунок 2 – Характерный вид кривой динамики концентрации трассера в заданном створе

4.6 В основе прогностической математической модели лежит одномерное адвективно-диффузионное уравнение

$$\frac{\partial C}{\partial t} + V_x \frac{\partial C}{\partial x} - D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + F(C) = 0, \qquad (1)$$

где С – средняя по поперечному сечению концентрация загрязняющего вещества, кг/м^3;

V_x – средняя скорость по поперечному сечению, м/с;

D_x – коэффициент продольной дисперсии в направлении течения реки, м^2/с;

t – время, с;

x – координатная ось (ее направление совпадает с направлением осредненного течения всего потока реки), м;

F(C) – функция характеризует химические, биохимические и другие процессы, происходящие с загрязняющим веществом в водоеме.

4.7 Аналитическое решение уравнения (1) для случая залпового сброса (импульсной инжекции по всему сечению водотока) имеет вид

$$C(x,t) = \frac{M}{\omega\sqrt{4\pi D_x t}} \exp\left(-\frac{(x - V_x t)^2}{4D_x t} - kt\right), \qquad (2)$$

где C(x, t) – средняя по поперечному сечению концентрация ЗВ, кг/м^3 в заданном створе реки на расстоянии x, м, от места аварийного сброса в момент времени t, с, прошедшего после аварии;

M – масса общего количества попавшего в водоток вещества в результате аварии, кг;

ω – площадь живого сечения водотока, м^2;

V_x – средняя по поперечному сечению скорость реки, м/с;

D_x – коэффициент продольной дисперсии в направлении течения реки, м^2/с;

k – коэффициент неконсервативности, 1/с.

Определив в ходе предварительного трассерного эксперимента параметры: ω, D_x, V_x, k и используя выражение (2), можно определить в случае реальной аварийной ситуации в каждом конкретном створе водотока в зоне наибольшего загрязнения динамику концентрации загрязняющего вещества.

4.8 Коэффициент неконсервативности k загрязняющих веществ определяется методом натурного химико-биологического моделирования в мезокосмах. Техника проведения этих экспериментов приведена в [2] и РД 52.44.2.

4.9 Трассерные эксперименты и эксперименты на мезокосмах осуществляют на выбранных участках реки во все важнейшие гидрологические фазы: весеннее половодье, летняя межень, зимняя межень и т.п. в соответствии с РД 52.24.309. Результаты заносят в компьютер в виде таблиц (см. приложение А), где их хранят до поступления информации об аварийном сбросе.

4.10 Установленные в результате натурных экспериментов параметры ω, D_x, V_x, k могут быть использованы для других аналитических решений одномерной модели с иным характером (эпюрой) выпуска ЗВ в соответствии с Р 52.24.627 или для численного моделирования процессов распространения пятна загрязнения.

5 Требования безопасности

Наблюдения проводят с учетом требований техники безопасности в соответствии с ГОСТ 12.1.007 и правилами [5].

При отборе и обработке проб загрязненных вод необходимо соблюдать правила, утвержденные инструкциями по работе с вредными веществами и сточными водами, а также правилами безопасности при работе на водоеме [5].

Эксплуатация электроприборов производится в соответствии с правилами эксплуатации электроустановок.

6 Требования к квалификации персонала

К работам по проведение трассерных экспериментов на водных объектах допускаются лица с высшим и средним специальным образованием, имеющие допуск для работы на водных объектах и освоивших люминесцентный микроскоп.

7 Подготовка и проведение трассерных экспериментов

7.1 Основные положения натурного гидродинамического моделирования

7.1.1 Загрязненные массы сточных вод, поступившие в водный объект в результате аварийного сброса, взаимодействуют по законам турбулентной диффузии со смежными объемами чистых речных вод. Результатом этого процесса является разбавление загрязненных сточных вод основным потоком реки. При этом разбавление действует одинаково как на консервативные, так и на неконсервативные вещества. Интенсивность и характер перемешивания загрязненных сточных вод с водой водных объектов зависит от гидравлических характеристик водного объекта, количества и характера поступления сточных вод и т.п.

7.1.2 Основой натурного гидродинамического моделирования на водных объектах является трассерный эксперимент. Трассерный эксперимент состоит в том, что в исследуемую гидродинамическую систему водотока вводят в заданном режиме определенное количество легко обнаруживаемого в водном объекте консервативного вещества-индикатора (трассера).

Движение трассера в водном объекте соответствует пространственно-временным эволюциям меченных им водных масс. Наблюдая в определенном режиме за распределением трассера в водном объекте, судят о параметрах, характеризующих изучаемую гидродинамическую систему или процесс.

7.1.3 Для подобных задач целесообразно использовать трассеры, удовлетворяющие следующим основным требованиям:

– должны быть безопасны в санитарно-гигиеническом и экологическом отношении;

– должны быть устойчивы в течение длительного времени в толще воды водного объекта и определяться с помощью несложных методов при наличии различных помех;

– иметь невысокую стоимость;

– их определение в воде должно быть возможно при весьма малых концентрациях.

7.1.4 Для малых и средних рек на относительно коротких участках по длине фарватера, где не требуется высокой чувствительности метода, допустимо использование таких трассеров, как растворы солей электролитов или флуоресцентных красителей: флуоресцеин, родамин, уранин, эозин и др.

7.1.5 Наиболее эффективно в трассерных экспериментах применение многоцветных флуоресцентных трассеров на основе высокодисперсных суспензий ярко люминесцирующих микрочастиц с размерами от 0,5 до 1,5 мкм, имеющие правильную сферическую форму. Эти трассеры могут применяться в любых жидких средах, в природных водах любой степени загрязнённости (в том числе в сточных водах). По чувствительности метода определения флуоресцентные трассеры не уступают радиоизотопным. Эти трассеры надежно определяются в любых жидких средах в большом диапазоне разбавлений начальной (стартовой) концентрации до 10^{14} раз. В одном эксперименте можно использовать при необходимости несколько (от 3 до 5) различающихся по спектру флуоресценции трассеров, что значительно упрощает, удешевляет проведение эксперимента. Вследствие высокой чувствительности метода определения трассеров, расходы таких трассеров в обычных экспериментах чрезвычайно малы.

Флуоресцентные трассеры запатентованы и широко апробированы на различных водных объектах бывшего СССР и Российской Федерации [2].

7.2 Изучение особенностей водотока и разработка схемы эксперимента

7.2.1 Подготовительный этап натурного трассерного эксперимента включает детальное ознакомление с имеющимися данными, характеризующими аварийно-опасный участок водотока. Для потенциально опас-

ного источника должны быть установлены основные ЗВ и определены водопользователи, для которых эти вещества представляют опасность; согласованы уровни высокого загрязнения (ВЗ) для соответствующих участков рек по Р 52.24.734.

В случае отсутствия данных, проводят рекогносцировочное обследование участка работ, в результате которого устанавливают ориентировочные скорости течения речных вод, определяют расположение створов наблюдения, расстояния между створами, выбирают вертикали и горизонты отбора проб, составляют схемы отбора проб, выявляют возможные мешающие определению трассеров условия (наличие пленки нефтепродуктов, большое количество мелких водорослей или взвешенных веществ) и т.д.

7.2.2 Важной является ориентировочная оценка и расчет ожидаемых кратностей разбавления трассерного вещества в местах отбора проб. Последнее необходимо для того, чтобы при проведении трассерного эксперимента в отобранных пробах концентрации индикатора были достаточными для его надежного количественного определения.

7.2.3 При выборе мест расположения створов наблюдения учитывают следующее:

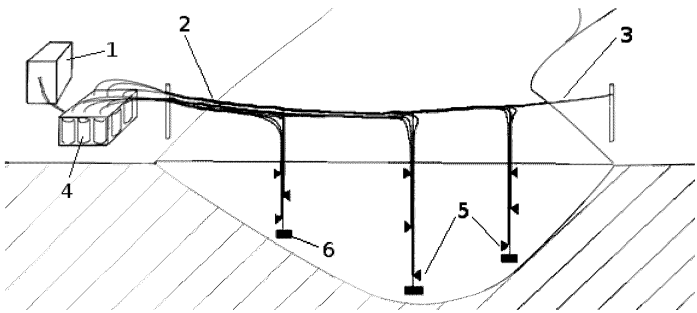
- участки между створами должны иметь сходные морфометрические характеристики русла;
- в схему расположения створов наблюдения должны быть включены створы выше по течению от близлежащих городов, населенных пунктов, мест водозабора и водопользования, попадающих в случае аварийного сброса, в зону риска ВЗ вод;
- должен быть обеспечен подъезд к створам наблюдения для проведения экспериментальных работ.

7.2.4 В выбранных створах предварительно определяют зоны максимальных скоростей потока, поскольку основная масса ЗВ при аварийном загрязнении распределяется в поперечном сечении русла неравномерно: зоны максимального загрязнения, как правило, совпадают с зонами максимальных скоростей потока. Отбор проб, при проведении натурных экспериментов проводят таким образом, чтобы зона наибольшего загрязнения в поперечном сечении водотока была надежно установлена.

7.2.5 По результатам промеров глубин, в выбранных створах намечают вертикали для отбора проб воды. Обычно используют от 5 до 7 вертикалей: одну на стрежне реки и по две к левому и правому берегам. Для реки шириной не более 20 м количество вертикалей может быть уменьшено до трёх. В зависимости от глубины реки намечают число точек отбора проб воды на вертикали. Так, при глубине свыше 3 м назначают три точки пробоотбора: 0,25 м от поверхности, середина и 0,25 м от дна. При глубине от 2 м до 3 м пробы отбирают у поверхности и у дна, при глубине менее 2 м достаточно одной точки – середина водной толщи.

7.3 Оборудование створа наблюдения

7.3.1 На основании разработанной схемы эксперимента в каждом створе в соответствии с 7.2.5 устанавливают оборудование для отбора проб воды по всему живому сечению реки для всех вертикалей и всех уровней (см. рисунок 3).



1 – вакуумный электрический насос; 2 – жгут соединительных трубок; 3 – капроновый трос; 4 – вакуумируемая кассета с емкостями для отбора проб; 5 – всасывающие диффузоры; 6 – грузы

Рисунок 3 – Принципиальная схема установки для одномоментного отбора проб с вакуумным пробоотборником по живому сечению реки

7.3.2 Быстрый одномоментный отбор проб на нескольких вертикалях на малых и средних реках удобно осуществлять специально разработанным вакуумным пробоотборником, фотография которого приведена на рисунке 4. В этом пробоотборнике электрический насос по сигналу оператора засасывает воду из всех точек отбора проб. Каждую пробу помещают в свою склянку. Склянки с отобранными пробами заменяют на пустые и процесс может повторяться.

Фотография вакуумного пробоотборника для одномоментного отбора проб представлена на рисунке 4.

Установка с вакуумным пробоотборником для одномоментного отбора проб, развернутая в створе наблюдения представлена на рисунке 5.

7.3.3 В чистой посуде для отбора проб воды не должны содержаться остаточные (от предыдущего эксперимента) частицы трассера. Для этого использованная в экспериментах посуда моется горячей водой по обычной методике с применением моющих растворов (как правило, применяют 20 %-ный раствор синтетических моющих средств).

7.3.4 Для обеспечения трассерного эксперимента кроме установки для отбора проб необходимы оборудование и материалы, перечень которых приведен в приложении Б.

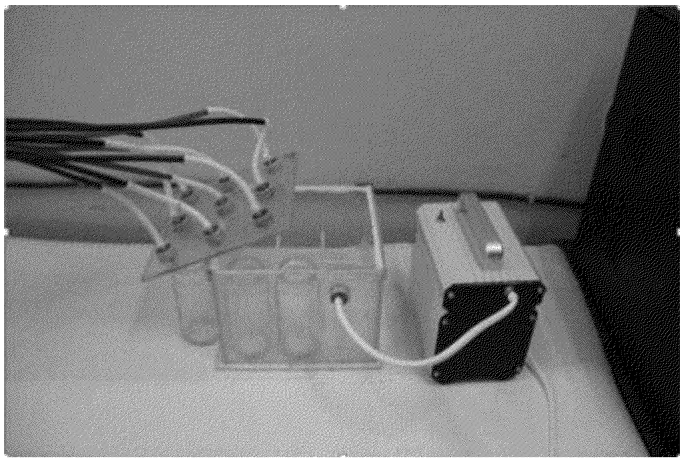


Рисунок 4 – Вакуумный пробоотборник
для одномоментного отбора проб

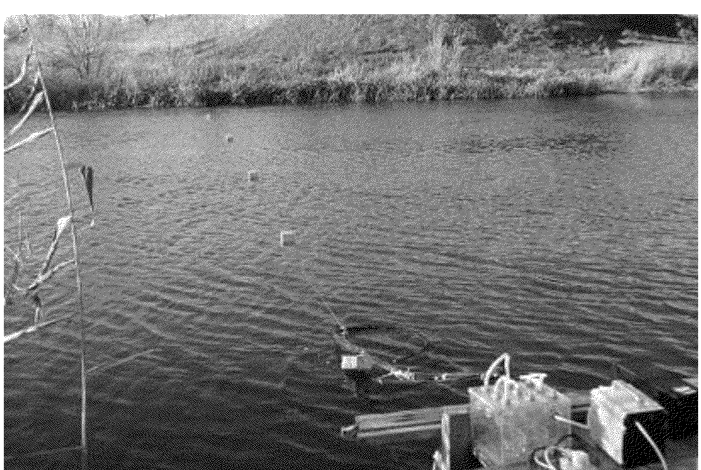


Рисунок 5 – Установка в створе для одномоментного отбора проб
с вакуумным пробоотборником на реке Миус

7.4 Подготовка трассера, введение его в водоток и отбор проб

7.4.1 После того как намечена общая схема эксперимента и, определены стартовые количества трассера, известны необходимые концентрации, плотности и размеры частиц трассера, условия транспортировки трассеров и т.п., готовят нужное количество высококонцентрированного препарата трассера в соответствии с РД 52.24.634, Р 52.24.627 и [2].

7.4.2 Рабочую суспензию трассера готовят непосредственно перед ее применением, разбавляя (распуская) исходный концентрированный препарат (раствор, суспензию или порошок) в необходимом количестве воды. Обычно для приготовления трассера используют воду того водного объекта, где проводят эксперимент. Если эта вода сильно загрязнена нефтепродуктами, взвешенными веществами и т.п., то желательно для приготовления рабочей суспензии использовать другую, менее загрязненную воду. Для приготовления стартового объема концентрированный препарат необходимо лишь разбавить. Как правило, это делается прямо в накопительной емкости-дозатора.

7.4.3 Количество трассера, необходимое для проведения эксперимента, рассчитывают ориентировочно в соответствии с РД 52.24.634, Р 52.24.627 и [2], исходя из ожидаемых размеров шлейфа, учтенных с запасом, и того конечного счетного содержания частиц, которое было бы наиболее удобно для количественной обработки проб воды.

7.4.4 Режим введения трассера в исследуемый водный объект зависит от конкретной схемы эксперимента. Полевой эксперимент, имитирующий залповый аварийный выброс ЗВ в водоток, моделируются путем импульсной инжекции всего количества трассера.

7.4.5 На рисунке 6 приведен пример распространения пятна введенного трассера, имитирующего аварийное загрязнение реки.

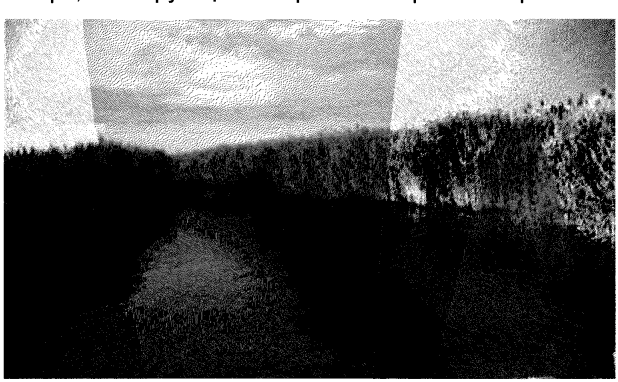


Рисунок 6 – Распространение пятна трассера в момент инжекции (река Тузлов в районе г. Новочеркасска)

7.4.6 Для определения ориентировочного значения времени добегания удобно использовать погружные поплавки. Первые 5-6 проб отбирают с упреждением (до прихода поплавков в створ наблюдения), а затем отбирают 3-4 пробы после их прохождения.

7.4.7 Отбор проб в каждом створе осуществляют с помощью установки для одномоментного отбора вакуумным пробоотборником в соответствии с 7.3 через равные интервалы времени, например, каждые пять минут. Количество отборов проб выбирается с таким запасом, чтобы гарантированно не пропустить приход пятна трассера в створ наблюдения и его выход.

7.4.8 Отобранные пробы маркируют, собирают, пакуют для дальнейшей обработки в лабораторных или, при необходимости, в полевых условиях.

8 Количественное определение трассера в отобранных пробах и обработка полученной информации

8.1 Схема обработки проб трассерного эксперимента

Обработка отобранных проб подробно описана в РД 52.24.634, Р 52.24.627 и [2]. Для количественного определения трассера в отобранных пробах воды фильтруют измеренный объем воды через мембранный фильтр с размерами пор, меньшими, чем диаметры частиц трассера, и подсчитывают число частиц в поле зрения люминесцентного микроскопа (см. рисунок 7).

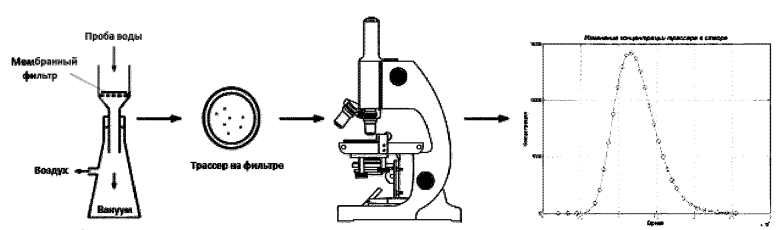


Рисунок 7 – Схема обработки проб трассерного эксперимента по каждому створу наблюдения

8.2 Фильтрование проб

8.2.1 С помощью фильтровальной установки (см. приложение Б) фильтрование проб осуществляется таким образом, чтобы исключить возможность загрязнения рабочей поверхности мембранного фильтра. Отобранную пробу воды тщательно взбалтывают, и через мембранный

фильтр с диаметром пор 0,45 мкм фильтруют определенный (фиксируемый) объем воды. Оптимальной, с точки зрения оператора, является такая плотность числа частиц, когда на поверхности мембранного фильтра с диаметром 12 мм, содержится от 50 до 150 частиц.

8.2.2 Если концентрации трассера в пробах малы, фильтрование ведут до тех пор, пока процесс дальнейшей фильтрации становится затруднительным вследствие «засорения» фильтра. Залитый в воронку объем воды фильтруют до конца. Затем фильтровальная воронка осторожно, чтобы не загрязнить фильтр, развинчивается, и фильтр переносят на предметное стекло. Сверху фильтр плотно прижимают покровным стеклом, после чего предметное и покровное стекла фиксируют на торцах липкой лентой. Препарат маркируют фломастером, и в таком состоянии может быть микроскопирован сразу или храниться неопределенное время. Фильтрат из колбы Бунзена переливают в мерный цилиндр, где измеряют его объем.

8.3 Микроскопирование

8.3.1 Микроскопирование препарата осуществляют с помощью люминесцентного микроскопа (см. приложение Б) при возбуждении флуоресценции сине-фиолетовыми лучами (светоделительная пластина от 360 до 440 нм со светофильтром ФС–1-4). В качестве запирающего светофильтра используют ЖС18+ЖС19. Как правило, подсчет частиц трассера проводят с помощью объектива 10х0,4Л и окуляров х7. При необходимости возможно использование и объектива 40х0,65Л, а также других окуляров.

В поле зрения люминесцентного микроскопа частицы трассера легко идентифицируют даже при наличии посторонних частиц по яркости, цвету флуоресценции, а также по размерам и форме частиц.

8.3.2 Если число частиц на фильтре невелико (менее пяти частиц в поле зрения), то сканируют всю поверхность фильтра и учитывают все осажденные частицы.

Если число частиц в поле зрения более пяти, то можно считать частицы в нескольких случайных полях зрения. Для подсчета частиц случайным образом выбирают не менее 20 полей зрения. Лучше это делать не произвольно, а переходить к новому полю зрения, поворачивая микрометрический винт столика микроскопа на определенную величину.

На основе просчитанных полей зрения рассчитывают среднее арифметическое число частиц в поле зрения.

8.3.3 Концентрацию трассера N, частиц/дм^3, рассчитывают по формуле

$$N = \frac{1000 \cdot n \cdot A}{a \cdot V}, \qquad (3)$$

где n – среднее число частиц в одном поле зрения;

А – площадь поверхности фильтра, $см^2$;
а – площадь поля зрения, $см^2$;
V – объем профильтрованной воды, $см^3$.

8.3.4 Результаты обработки проб по каждому створу наблюдения заносят в компьютер и строят графики как функции S(t), где S – осредненная по живому сечению водотока концентрация трассера в определенные моменты времени. На основании полученных данных определяют основные гидродинамические параметры исследуемого участка водотока. На рисунке 8 приведен пример результатов обработки трассерного эксперимента на реке Северский Донец.



Рисунок 8 – Динамика концентраций трассера в трех створах наблюдения на реке Северский Донец

8.4 Определение основных гидродинамических параметров участка водотока

8.4.1 Для получения численных значений C(x,t) уравнения (2) необходимо знать среднюю скорость потока V_x, м/с, коэффициент продольной дисперсии D_x, $м^2/с$, массу ЗВ, попавшего в водный объект М, кг, и площадь живого сечения водотока ω, $м^2$.

Среднюю скорость потока V_x и площадь живого сечения водотока ω определяют непосредственно в ходе трассерного эксперимента в каждом створе наблюдения [2]. Ориентировочно скорость течения определяют с помощью погружных поплавков. Окончательный расчет скоростей течения производят после обработки проб воды, отобранных в ходе трассерного эксперимента. Площадь живого сечения водотока определяют путем промера глубин в каждом створе наблюдения.

Массу ЗВ М при залповом выбросе оценивают исходя из характера аварии произошедшей на объекте.

8.4.2 Время добегания T_{max} на исследуемом участке реки определяют как разность времени установления максимальных концентраций трассера в створе отбора проб и момента инжекции трассера в створе выпуска.

8.4.3 Расчет максимальной скорости перемещения пика концентрации ЗВ V_{max}, м/с, производят по формуле

$$V_{max} = \frac{L}{T_{max}}, \quad (4)$$

где L – расстояние между створами инжекции и наблюдения, м;

T_{max} – определенное в эксперименте время добегания максимальной концентрации трассера, с (см. рисунок 2).

8.4.4 Расчет максимальной скорости перемещения переднего фронта волны загрязнения $V_{пф}$, м/с, производят по формуле

$$V_{пф} = \frac{L}{T_{пф}}, \quad (5)$$

где L – расстояние между створами инжекции и наблюдения, м;

$T_{пф}$ – определенное в эксперименте время добегания переднего фронта концентрации трассера (см.рисунок 2), с.

Из полученных на разных вертикалях значений скоростей в 8.4.3 и 8.4.4 в расчеты берут наибольшие.

8.4.5 Коэффициент продольной дисперсии D_x, $м^2/с$ вычисляют на основании данных, полученных из трассерного эксперимента по формуле

$$D_x = \frac{V_x^3}{2}\frac{d\sigma_t^2}{dx}, \quad (6)$$

где V_x – средняя скорость потока, м/с;

dx – расстояние по руслу реки между створами наблюдения, м;

$d\sigma_t^2$ – изменение дисперсии по времени концентрации трассера при прохождении створов наблюдения, $с^2$.

Дисперсия по времени концентрации трассера при прохождении каждого створа наблюдения σ_t^2, $с^2$ определяется по формуле

$$\sigma_t^2 = \frac{\sum S_i t_i^2}{\sum S_i} - \left(\frac{\sum S_i t_i}{\sum S_i}\right)^2, \quad (7)$$

где t_i – время с момента инжекции трассера, с;

S_i – осредненная по живому сечению водотока концентрация трассера в створе наблюдения в момент времени t_i, частиц/дм^3.

Для упрощения расчетов при вычислении значений σ_i^2 в пакете Excel удобно использовать пользовательскую VBA функцию (см. приложение В).

8.4.6 Полученные гидродинамические параметры по каждому створу наблюдения заносят в таблицы согласно приложению А. Результаты хранят организации (ведомства) выполнившие эти эксперименты.

9 Эксперименты по определению неконсервативности загрязняющих веществ

9.1 Основные положения натурного химико-биологического моделирования для определения неконсервативности загрязняющих веществ

9.1.1 Необходимость натурного моделирования неконсервативности ЗВ водных экосистем объясняется, с одной стороны, чрезвычайной важностью этих процессов в общей схеме химико-биологических превращений в водном объекте, а с другой – их слабой изученностью, приводящей к большим ошибкам при определении основных параметров этих процессов. Это приводит к тому, что на практике процессы неконсервативности в водных объектах фактически не учитываются, так как правилами охраны поверхностных вод от загрязнения допускается их учет только в том случае, когда эти процессы достаточно надежно изучены. Поскольку гидрологическая компонента этих процессов (разбавление ЗВ в водных объектах) легко оценивается в рамках натурного гидродинамического моделирования, в данном разделе рассматриваются методы определения убыли ЗВ под воздействием химико-биологических процессов.

9.1.2 Коэффициент неконсервативности и показатели острой токсичности ЗВ определяется методом натурного химико-биологического моделирования в мезокосмах. Техника проведения этих экспериментов приведена в РД 52.44.2 и [2].

9.1.3 Исследования на мезокосмах позволяют внести дифференцированный количественный вклад в показатель неконсервативности ЗВ отдельных процессов путем изучения соответствующей кинетики трансформации ЗВ в условиях максимального приближения к природным.

9.2 Проведение мезокосменных экспериментов

9.2.1 Химико-биологические эксперименты на мезокосмах для целей прогнозирования динамики концентраций ЗВ аварийного загрязнения водных объектов описаны в РД 52.44.2, РД 52.24.670. Мезокосменные эксперименты проводят в соответствии с разработанным сценарием развития аварийного загрязнения после проведения соответствую-

щих трассерных экспериментов на данном водном объекте и установления в результате этих экспериментов пространственно-временных характеристик местоположения зоны наибольшего загрязнения в данном водном объекте и режима разбавления ЗВ в этих зонах.

При проведении мезокосменных экспериментов полученные режимы разбавления используют для задания исходных концентраций ЗВ.

9.2.2 Эксперименты по определению коэффициента неконсервативности начинают с установки в водном объекте изолирующих контейнеров-мезокосмов, внесении в соответствии со сценарием затравок ЗВ и организации отбора проб. Стартовые затравки ЗВ вносят в режиме, близком к тому режиму поступления, который ожидается на основе гидродинамического (трассерного) моделирования.

9.2.3 Частоту отбора проб устанавливают в зависимости от устойчивости испытуемых веществ к процессам самоочищения от 10 до пяти проб в сутки.

9.2.4 Для аварийного загрязнения поверхностных вод суши динамика концентрации ЗВ моделируется с помощью уравнения химической кинетики первого порядка

$$\frac{dC}{dt} = -kC_t, \qquad (8)$$

где C_t – концентрация ЗВ в текущий момент времени, кг/м^3;

t – время, с;

k – константа (коэффициент неконсервативности) убыли концентраций загрязняющего вещества в воде, 1/с.

9.2.5 В результате исследования получают кинетические характеристики убыли ЗВ и динамики токсичности водной среды в данном водном объекте на различных участках с реальным режимом поступления ЗВ, характерным для возможного данного аварийного загрязнения.

9.2.6 Полевые эксперименты по определению коэффициента неконсервативности, осуществляют на выбранных участках реки во все важнейшие гидрологические фазы (весеннее половодье, летняя межень, зимняя межень и т.п.) в соответствии РД 52.24.309.

9.2.7 Полученные результаты, как и в 8.4.6, заносятся в компьютер в виде таблиц вместе с результатами трассерных экспериментов (см. приложение А), где они хранятся до поступления информации об аварийном сбросе.

10 Порядок работ в аварийный период

10.1 После поступления информации о залповом аварийном сбросе из таблиц, сформированных в безаварийный период в соответствии с 8.4.6 и 9.2.7, проводят выборку необходимых параметров и выполняют

предварительные расчеты по формуле (2), прогнозирующие распространения пятна загрязнения в пространстве и времени.

Дальнейшие мероприятия по ликвидации последствий аварии осуществляют в соответствии с заранее разработанными и утверждёнными соответствующими органами [1], [3] планами на основании полученных аналитических прогнозов и оперативной информации получаемой в режиме реального времени.

Таким образом, режимные наблюдения в безаварийный период обеспечивают надежные прогнозы в период оперативных наблюдений во время ликвидации последствий аварийного загрязнения водотока.

10.2 Развертывание системы оперативного мониторинга аварийного загрязнения водных объектов предусматривает наличие у всех водопользователей потенциально опасных в плане аварийного загрязнения водных объектов, заранее разработанных и утвержденных соответствующими органами федеральной власти, схем размещения пунктов наблюдения и программ режимных наблюдений в соответствии РД 52.24.309 и [3], а в случае аварийной ситуации - планов ликвидации последствий аварий.

Эти планы должны быть разработаны с учетом настоящих рекомендаций и содержать:

- полный перечень мероприятий по минимизации ущерба и ликвидации последствий аварийного загрязнения водного объекта;
- указания по оповещению всех заинтересованных служб и организаций и порядок их взаимодействия;
- перечень требуемых технических средств необходимых для ликвидации последствий аварии;
- перечень объектов, подлежащих особой защите от загрязнения (водозаборы, пляжи и др.);
- способы сбора и удаления ЗВ;
- режимы водопользования в сложившейся после аварии ситуации.

Приложение А
(обязательное)

Форма представления результатов трассерного эксперимента и эксперимента на мезокосмах

Таблица А.1

Водный объект:							
Дата проведения эксперимента:							
Координаты места инжекции трассера: широта_____, долгота_____							
		Створы наблюдения					
		1	2	3	4	5	6
Координаты	Широта						
	Долгота						
Расстояние от места инжекции трассера по руслу реки, м							
Площадь живого сечения водотока в створе наблюдения ω, $м^2$							
Средняя скорость потока V_x, м/с							
Время добегания переднего фронта, $T_{пф}$, с							
Время добегания зоны максимального загрязнения T_{max},с							
Дисперсия концентрации трассера по времени при прохождении створа наблюдения σ_t^2, $с^2$							
Коэффициент продольной дисперсии D_x, $м^2/с$							
Коэффициент неконсервативности k, 1/с							

Руководитель экспедиции по проведению трассерного эксперимента _____ (подпись) _____ (Инициалы, фамилия)

Руководитель организации, проводившей трассерный эксперимент _____ (подпись) _____ (Инициалы, фамилия)

Приложение Б
(обязательное)

Перечень необходимого оборудования, вспомогательных устройств, приборов, материалов для проведения полевых трассерных экспериментов

Таблица Б.1

Наименование	Количество, ед. изм.
Лодка весельная или моторная	1 шт.
Гидрометрическая рейка ГР-3 по ТУ 3936-001-29590436-2004	1 шт.
Геодезическая рулетка Р100 УЗК по ГОСТ 7502-98	1 шт.
Ручной лот для измерения глубин на основе капронового шнура длиной L=25 м, диаметром 4 - 6 мм с грузом весом Р≥150 г, размеченного через каждые 5 см	1 шт.
Фильтровальная установка, включающая колбу Бунзена, фильтровальную воронку диаметром 30 мм, насос вакуумный, соединительную (резиновую) трубку длиной не менее 1,5 м, перепускной кран	1 комплект
Микроскоп люминесцентный (Люмам-И1, МЛД-1) с объективом 10х0,4Л и окуляров х7 (необходим только в случае обработки результатов трассерного эксперимента на месте)	1 шт.
Установка для одномоментного отбора проб с вакуумным пробоотборником	1 шт.
Полиэтиленовые бутыли вместимостью 0,5 $дм^3$	50 шт.
Цилиндр 2-500-1 по ГОСТ 1770-74	1 шт.
Эксикатор 2-290 по ГОСТ 25336-82	1 шт.
Концентрированная суспензия трассера	2 $дм^3$
Мембранные фильтры «Владипор»	100 шт.
Стекла для приготовления препарата с фильтром (40х40 мм, h =1-1,5 мм)	100 шт.
Ацетон технический по ГОСТ 2768-84	1 $дм^3$
Вата медицинская нестерильная	100 г
Пинцет дюралюминиевый по ТУ 2-31-32-73	1 шт.
Скальпель 04-423 по ГОСТ 21240-89	1 шт.
Примечание - Допускается применение других приборов, оборудования, вспомогательных устройств и материалов с аналогичными или лучшими метрологическими и техническими характеристиками.	

Приложение В
(рекомендуемое)

Листинг пользовательской VBA функции «*Exp_Dispersion*» для расчета значения σ_t^2

```
Function Exp_Dispersion (List_t, List_S) As Double

   Dim Count_t   As  Integer
   Dim Count_S   As  Integer
   Dim Sum_S     As  Double
   Dim Sum_St    As  Double
   Dim Sum_Stt   As  Double
   Dim i         As  Integer

Count_t = Application.WorksheetFunction.Count(List_t)
Count_S = Application.WorksheetFunction.Count(List_S)
Sum_S = Application.WorksheetFunction.Sum(List_S)

Sum_St = 0
        For i = 1 To  Count_t
Sum_St = Sum_St + (List_t(i) * List_S(i))
        Next i

Sum_Stt = 0
        For i = 1 To  Count_t
Sum_Stt = Sum_Stt + (List_t(i) * List_t(i) * List_S(i))
        Next i

Exp_Dispersion = (Sum_Stt / Sum_S) - ((Sum_St / Sum_S) * (Sum_St / Sum_S))

End Function
```

Библиография

[1] Временное положение о порядке взаимодействия федеральных органов исполнительной власти при аварийных выбросах и сбросах загрязняющих веществ и экстремально высоком загрязнении окружающей среды (утв. Минприроды РФ 23.06.1995 № 05-11/2507, МЧС РФ 03.08.1995, Госкомсанэпиднадзором РФ 18.08.1995, Минсельхозпродом РФ 04.07.1995, Росгидрометом 30.06.1995, Роскомземом 08.08.1995, Роскомводом 22.08.1995, Роскомнедра 11.08.1995, Роскомрыболовства 14.08.1995, Рослесхозом 10.08.1995).

[2] Никаноров А.М., Трунов Н.М. Внутриводоемные процессы и контроль качества поверхностных вод / Под ред. Бедрицкого А.И. - СПб: Гидрометеоиздат, 1999. - 155 с.

[3] Положение о единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (утв. постановлением Правительства РФ от 30 декабря 2003 г. № 794).

[4] Никаноров А.М., Иваник В.М. Словарь-справочник по гидрохимии и качеству вод суши: понятия и определения. – Ростов-на-Дону: Изво ООО «Центр Печатных Технологий АртАртель», 2014. – 548 с.

[5] Правила по технике безопасности при производстве наблюдений и работ на сети Госкомгидромета. - Л: Гидрометеоиздат, 1983.

Ключевые слова: оперативный мониторинг, аварийные сбросы загрязняющих веществ, натурное моделирование с помощью трассеров, моделирование на мезокосмах

Лист регистрации изменений

Номер изменения	Номер страницы				Номер документа (ОРН)	Подпись	Дата	
	измененной	замененной	новой	аннулированной			внесения изм.	введения изм.

gost.e-ecolog.ru