

ЗАО «Крисмас+»

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ЗАО «Крисмас+»

Б.В.Смолев

«16» августа 2012 г.



МЕТОДИКА

измерений массовой концентрации
сульфатов в пробах питьевой
и природных вод
титрованием солью бария
с индикатором ортаниловым К
на основе тест-комплекта «Сульфаты»

МВИ-15-142а-12

**Санкт-Петербург
2012**

СОДЕРЖАНИЕ

1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ	3
2. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ.....	3
3. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА, МАТЕРИАЛЫ И РЕАКТИВЫ.....	4
3.1. Средства измерений.....	4
3.2. Вспомогательные устройства	4
3.3. Материалы и реактивы	4
4. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.....	5
5. ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА.....	5
6. УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ.....	6
7. ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ.....	6
7.1. Приготовление растворов	6
8. ОТБОР И ХРАНЕНИЕ ПРОБ.....	7
9. ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ	7
10. ВЫЧИСЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ	8
11. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ.....	9
12. КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ	9
<i>Приложение А</i>	
Подготовка катионита КУ-2-8ЧС к работе	11
<i>Приложение Б</i>	
Устранение мешающих влияний	12
СВИДЕТЕЛЬСТВО об аттестации методики (метода) измерений	13
Бюджет неопределенности измерений	15

Настоящий документ устанавливает методику выполнения измерений массовой концентрации сульфат-ионов в пробах питьевой и природных вод в диапазоне от 50 до 1000 мг/дм³.

Методика предусматривает использование комплектующих и реактивов в составе переносного тест-комплекта «Сульфаты» (ТУ 2643-600-82182574-08) и предназначена для применения, как в полевых, так и в лабораторных условиях.

ПДК сульфатов в воде водоемов хозяйственно-питьевого назначения составляет 500 мг/дм³.

1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Относительная расширенная неопределенность измерений по данной методике (при коэффициенте охвата $k = 2$) составляет 8 %.

Примечание. Указанная неопределенность соответствует границам относительной погрешности $\pm 8 \%$ при доверительной вероятности $P = 0,95$.

2. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ

Титриметрический метод определения сульфатов соответствует ПНД Ф 14.1:2.107-97, ГОСТ 52964-2008 и основан на способности сульфатов образовывать с ионами бария слаборастворимый осадок BaSO₄. В точке эквивалентности избыток ионов бария реагирует с индикатором ортаниловым К с образованием комплексного соединения. При этом окраска раствора изменяется из фиолетовой в голубую.

Метод предусматривает использование комплектующих и реактивов из тест-комплекта «Сульфаты», что делает его пригодным для применения в полевых условиях.

Определению мешают окрашенные и взвешенные вещества, а также катионы, способные реагировать с ортаниловым К. Устранение мешающих влияний осуществляется в соответствии с приложением Б.

При концентрации сульфат-ионов более 300 мг/дм³ исходную пробу воды разбавляют.

3. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА, МАТЕРИАЛЫ И РЕАКТИВЫ

3.1. Средства измерений

Весы лабораторные общего назначения с наибольшим пределом взвешивания 200 г и допускаемой погрешностью взвешивания в пределах $\pm 0,25$ мг.

Весы лабораторные общего назначения с наибольшим пределом взвешивания 1000 г и допускаемой погрешностью взвешивания в пределах $\pm 0,02$ г.

Стандартный образец состава водного раствора сульфат-ионов с аттестованным значением 10 г/дм³, например ГСО 7684-99.

Колбы мерные 2-100-2, 2-250-2, 2-500-2, 2-1000-2 по ГОСТ 1770-74.

Пипетки градуированные 2-1-2-1, 2-2-2-5, 2-2-2-10 по ГОСТ 29227-91.

Пипетки с одной меткой 2-2-1, 2-2-10 по ГОСТ 29169-91.

Цилиндры 3-50, 3-100, 3-250 по ГОСТ 1770-74.

Примечание. Указанные средства измерений необходимы для приготовления растворов в условиях лаборатории.

3.2. Вспомогательные устройства

Воронки стеклянные лабораторные В-36-80 ХС по ГОСТ 25336-82.

Колбы конические Кн-2-50-34 ТХС по ГОСТ 25336-82.

Стакан химический В-1-500 ТХС по ГОСТ 25336-82.

Шпатель-ложечка пластмассовый 150 × 12 мм по ТУ 2293-004-72413222-2004.

Пипетки-капельницы полимерные вместимостью 1 см³.

Шприц-дозатор вместимостью 10 см³ с соединительной трубкой.

3.3. Материалы и реактивы

Барий хлористый 2-водный, хч по ГОСТ 4108-72 или стандарт-титр (фиксанал) 0,1н по ТУ 6-09-2540-87.

Калий серноокислый, чда по ГОСТ 4145-74.

Органиловый К тринатриевая соль, чда по ТУ 6-09-05-587-76.

Соляная кислота, хч по ГОСТ 3118-77.

Натрия гидроксид, чда по ГОСТ 4328-77.
Спирт этиловый ректификованный по ГОСТ 18300-87.
Катионит КУ-2-8-чС по ГОСТ 20298-74.
Бумага индикаторная универсальная по ТУ 2642-054-23050963-2008.

Вода дистиллированная по ГОСТ 6709-72.

Фильтры обеззоленные «белая лента» по ТУ 6-09-1678-95.

Допускается использование реактивов, изготовленных по другой нормативно-технической документации, в том числе, импортных, имеющих квалификацию не ниже чда.

Примечание. Все необходимые растворы входят в состав тест-комплекта «Сульфаты». Указанные реактивы необходимы в случае самостоятельного приготовления растворов в условиях лаборатории.

4. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении измерений соблюдают следующие требования.

К работе допускаются лица не моложе 18 лет, обученные для проведения данного вида работ и прошедшие инструктаж по правилам техники безопасности.

Оператор должен соблюдать меры предосторожности при работе с химическими реактивами (ГОСТ 12.1.00776), требования пожарной безопасности (ГОСТ 12.1.00491). Он должен быть ознакомлен со специфическими свойствами и действием на организм человека вредных веществ (концентрированная соляная кислота, натрия гидроокись), применяемых в данной МВИ.

5. ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА

Измерения выполняются лаборантом, имеющим опыт работы в области аналитической химии (титриметрии), прошедшим проверку знаний по технике безопасности, пожарной безопасности и промышленной санитарии и сдавшим экзамен на право допуска к самостоятельной работе.

6. УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

При выполнении измерений необходимо соблюдать следующие условия:

- температура воздуха от 10 °С до 35 °С;
- атмосферное давление от 630 до 800 мм рт. ст.;
- относительная влажность воздуха от 30 % до 98 %.

7. ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ

Подготовка к выполнению измерений заключается в приготовлении растворов.

Примечание. Вспомогательные растворы входят в состав тест-комплекта «Сульфаты». При необходимости эти растворы готовят самостоятельно, в условиях лаборатории, следуя п.7.1.

7.1. Приготовление растворов.

7.1.1. Приготовление раствора хлористого бария с молярной концентрацией эквивалента 0,1 моль/дм³.

Содержимое ампулы стандарт-титра количественно переносят в мерную колбу вместимостью 1000 см³, растворяют и доводят объем дистиллированной водой до метки.

7.1.2. Приготовление раствора хлористого бария с молярной концентрацией эквивалента 0.02 моль/дм³.

7.1.2.1. В мерную колбу вместимостью 500 см³ вносят цилиндром 100 см³ раствора хлористого бария 0,1 моль/дм³ (п.7.1.1) и доводят объем дистиллированной водой до метки.

7.1.2.2. (1,22 ± 0,01) г хлористого бария помещают в мерную колбу вместимостью 500 см³, растворяют и доводят объем до метки дистиллированной водой.

Раствор устойчив при хранении в плотно закрытой посуде в течение 1 года.

7.1.3. Приготовление раствора ортанилового К.

(0,024 ± 0,001г) г ортанилового К помещают в мерную колбу вместимостью 500 см³ и растворяют в 25 см³ дистиллированной воды, доводят до метки этиловым спиртом.

Раствор хранят в темной плотно закрытой посуде в недоступном для света месте в течение 1 года.

7.1.4. Приготовление раствора соляной кислоты 1 моль/дм³.

В стакан вместимостью 500 см³ вносят около 200 см³ дистиллированной воды и 85 см³ концентрированной соляной кислоты, перемешивают, переносят в мерную колбу вместимостью 1000 см³ и доводят объем до метки дистиллированной водой.

Срок хранения раствора в стеклянной емкости неограничен.

7.1.5. Приготовление раствора гидроксида натрия 1 моль/дм³.

(10,00 ± 0,02) г гидроксида натрия растворяют в 250 см³ дистиллированной воды.

Раствор устойчив при хранении в плотно закрытой полиэтиленовой посуде в течение 1 года.

8. ОТБОР И ХРАНЕНИЕ ПРОБ

8.1. Отбор проб производится в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб».

8.2. Посуду, предназначенную для отбора и хранения проб, промывают раствором соляной кислоты, а затем дистиллированной водой.

8.3. Пробы воды отбирают в стеклянные или полиэтиленовые емкости. Объем отбираемой пробы должен быть не менее 200 см³.

8.4. Пробы хранят при температуре 3–4°C. Рекомендуется выполнять определение в течение 7 дней после отбора.

Если в воде присутствуют заметные количества других соединений минеральной или органической серы, определение необходимо выполнить не позднее 1 суток после отбора проб.

9. ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

Это сокращённая (ознакомительная) версия.

Полную версию методики можно приобрести на официальном сайте группы компаний «Крисмас»:

https://christmas-plus.ru/catalog/dokumentatsiya/metodiki_izmereniy/metodiki_izmereniy_zao_krismas_/

За дополнительной информацией обращайтесь:
+7 (800) 302-92-25 (звонок по России бесплатный)
+7 (812) 575-54-07
+7 (812) 575-50-81
+7 (812) 575-55-43
+7 (812) 575-57-91
E-mail: info@christmas-plus.ru

10. ВЫЧИСЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

10.1. Массовую концентрацию сульфатов в анализируемой пробе воды находят по формуле:

$$X = \frac{48,03 \times V \times C_{Ba} \times 1000}{V_1}, \quad (1)$$

где X — массовая концентрация сульфатов в воде, мг/дм³;
 V — объем раствора хлористого бария, израсходованного на титрование пробы, см³;
 C_{Ba} — молярная концентрация эквивалента хлорида бария в растворе титранта, моль/дм³;
 V_1 — объем пробы воды, взятый для титрования, см³;
48,03 — молярная масса эквивалента SO_4^{2-} , г/моль.
1000 — коэффициент пересчета единиц измерений из г/дм³ в мг/дм³.

В случае разбавления исходной пробы (п. 9.3) при вычислении результатов учитывают разбавление.

10.2. За результат измерений принимают среднее арифметическое значение X_{cp} результатов двух параллельных определений X_1 и X_2 :

$$X_{cp} = \frac{X_1 + X_2}{2}, \quad (2)$$

при условии их приемлемости:

$$\frac{X_1 - X_2}{X_{cp}} \times 100 \leq r, \quad (3)$$

где $r = (7,7 - 0,014 X_{cp}) \%$ — норматив контроля ($P = 0,95$).

Если условие (1) не выполняется, вновь выполняют операции раздела 9. При повторном превышении норматива выясняют причины, приводящие к неудовлетворительным результатам, и устраняют их.

11. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

11.1. Результаты измерений оформляют записью в журнале.

11.2. Полученные значения массовой концентрации сульфатов округляют до целых единиц.

11.3. Результаты измерений в полном формате представляют в виде:

$$(X_{cp} \pm U) \text{ мг/дм}^3, \quad (4)$$

где $U = 0,08 X_{cp}$ — расширенная неопределенность измерений.

11.4. Результаты измерений округляют до целых единиц.

12. КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

12.1. Контроль точности измерений по стандартному образцу

12.1.1. Приготовление контрольного раствора.

1,0 см³ ГСО с массовой концентрацией сульфат-ионов 10 г/дм³ переносят пипеткой с одной меткой в мерную колбу вместимостью 100 см³, доводят дистиллированной водой до метки, перемешивают. Раствору приписывают массовую концентрацию сульфатов 100 мг/дм³.

12.1.2. Контрольный раствор анализируют в соответствии с методикой, получая результат X_{cp} .

12.1.3. Результат контроля считают положительным, если выполняется условие

$$|X_{cp} - 100| \leq K, \quad (5)$$

где $K = 10 \text{ мг/дм}^3$ — норматив контроля.

Рекомендуется периодичность контроля — в соответствии с планом внутреннего контроля, принятым в лаборатории.

12.2. Проверка пригодности методики методом добавок

Проверку проводят с целью оценки возможности применения методики для анализа ранее неисследованных типов вод, а также при возникновении сомнения в результатах анализа ввиду наличия в пробе мешающих компонентов.

Пробу воды, поступившую на анализ, с массовой концентрацией сульфатов в диапазоне от 50 до 300 мг/дм³ делят на две части. Первую анализируют в соответствии с методикой и получают результат X_{np} . Во вторую часть вводят добавку, в качестве которой используют раствор ГСО с массовой концентрацией сульфат-ионов 10 г/дм³. В мерную колбу вместимостью 250 см³ с помощью градуированной пипетки, вносят определенный объем $V_d > 1,5$ см³ раствора ГСО. Объем добавки должен быть таким, чтобы массовая концентрация сульфатов в исходной пробе примерно удвоилась. Пробу с добавкой анализируют в соответствии с методикой и получают результат X_{np+d} .

Анализ исходной пробы и пробы с добавкой проводит один и тот же оператор в сходных условиях.

12.2.1. Результат проверки считают положительным, если

$$|X_{np+d} - X_{np} - X_d| \leq K_d, \quad (6)$$

где X_{np+d} — результат анализа пробы с добавкой, мг/дм³;
 X_{np} — результат анализа исходной пробы, мг/дм³;
 X_d — увеличение массовой концентрации сульфатов в пробе воды, вызванное внесением добавки, мг/дм³;

$$X_d = \frac{V_d \times 10000}{250},$$

где V_d — объем добавки, см³;
250 — объем мерной колбы см³;
10000 — концентрация сульфат-ионов в растворе ГСО, мг/дм³.

K_d — норматив, значение которого вычисляют по формуле:

$$K_d = 0,08 \sqrt{(X_{np})^2 + (X_{np+d})^2} \quad (7)$$

Подготовка катионита КУ-2-8ЧС к работе

Ранее неиспользованный катионит заливают дистиллированной водой и выдерживают 7 ч, после этого воду сливают и заливают катионит раствором соляной кислоты 1 моль/дм³ выдерживают 24 ч.

Окрасившийся раствор соляной кислоты сливают, промывают катионит 2-3 раза дистиллированной водой способом декантации и снова заливают раствором соляной кислоты. Процедуру повторяют до тех пор, пока раствор соляной кислоты над катионитом не перестанет окрашиваться в желтый цвет.

После последней обработки катионита кислотой его промывают дистиллированной водой до значения рН, равного 6 (контроль по индикаторной бумаге). Хранят катионит под слоем дистиллированной воды 6 мес.

Регенерация катионита

В колбу с отработанным катионитом вносят раствор соляной кислоты 1 моль/дм³, при этом объем кислоты должен в пять раз превышать объем катионита. Встряхивают содержимое колбы 8–10 раз в течение 10 мин. Раствор кислоты сливают, катионит промывают способом декантации дистиллированной водой до значения рН, равного 6 (контроль по индикаторной бумаге).

Устранение мешающих влияний

1. Мешающее влияние взвешенных и коллоидных веществ устраняют фильтрованием.

2. Окрашенная проба воды затрудняет фиксацию конечной точки титрования.

В этом случае пробу перед выполнением анализа следует пропустить со скоростью 4–6 см³/мин через хроматографическую колонку, заполненную активированным углем (высота слоя 12–15 см). Первые 25–30 см³ пробы, прошедшей через колонку, отбрасывают.

3. Мешающее влияние активного хлора устраняют нагреванием пробы.

В мерную колбу вместимостью 100 см³ помещают анализируемую воду до метки, затем переносят пробу из колбы в стакан вместимостью 250 см³ и кипятят 10–15 мин. После охлаждения пробу возвращают в мерную колбу, стакан ополаскивают 1–2 см³ дистиллированной воды и доводят объем пробы в колбе до метки.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

FEDERAL STATE
UNITARY ENTERPRISE
"D.I.MENDELEYEV INSTITUTE
FOR METROLOGY"
(VNIIM)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
"ВНИИМ
им. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА"

19, Moskovsky pr.,
St. Petersburg,
190005, Russia

Fax: 7 (812) 713-01-14
Phone: 7 (812) 251-76-01
e-mail: info@vniim.ru
http://www.vniim.ru

190005, Россия,
г. Санкт-Петербург,
Московский пр., 19

Fax: 7 (812) 713-01-14
Телефон: 7 (812) 251-76-01
e-mail: info@vniim.ru
http://www.vniim.ru

**СВИДЕТЕЛЬСТВО
CERTIFICATE**

об аттестации методики (метода) измерений

№ 317/242-(01.00250-2008)-2012

Методика измерений массовой концентрации сульфат-ионов в пробах питьевой и природных вод, разработанная ЗАО "Крисмас+" (191180, С.-Петербург, наб. Фонтанки, 102) и регламентированная в документе МВИ-15-142а-12 "Методика измерений массовой концентрации сульфатов в пробах питьевой и природных вод титрованием соляной кислоты с индикатором ортанитовым К на основе тест-комплекта "Сульфаты", Санкт-Петербург, 2012 (8 стр.), аттестована в соответствии с ГОСТ Р 8.563-2009.

Аттестация осуществлена по результатам экспериментальных исследований, проведенных при разработке методики, а также теоретических исследований.

В результате аттестации установлено, что методика измерений соответствует предъявляемым к ней метрологическим требованиям и обладает основными метрологическими характеристиками, приведенными на оборотной стороне свидетельства.

Дата выдачи свидетельства: 22 августа 2012 г.

Директор



Н.И. Ханов

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Диапазон измерений массовой концентрации сульфатов в пробах питьевой и природных вод: от 50 до 1000 мг/дм³.

Относительная расширенная неопределенность измерений в указанном диапазоне (при коэффициенте охвата $k = 2$) составляет 8 %

Примечания:

1. Указанная неопределенность соответствует границам суммарной относительной погрешности измерений $\pm 8\%$ при доверительной вероятности $P = 0,95$.
2. Бюджет неопределенности измерений приведен в Приложении к свидетельству.
3. Метрологические характеристики методики соответствуют требованиям ГОСТ 27384-2002 "Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств".

НОРМАТИВЫ

Наименование операции	№ пункта в документе на методику	Контролируемая характеристика	Норматив
Проверка приемлемости результатов параллельных определений	10.2	Модуль разности результатов двух параллельных определений, отнесенный к среднему арифметическому	$r = (7,7 - 0,014 X_{\text{ср}}) \%$ ($P = 0,95$)
Контроль точности измерений по контрольному раствору, приготовленному из ГСО	12.1	Модуль отклонения результата измерений в контрольном растворе от приписанного значения 100 мг/дм ³	$K = 10 \text{ мг/дм}^3$
Проверка пригодности методики методом добавок	12.2	По формуле (6) в документе на методику	По формуле (7) в документе на методику

Ведущий специалист



Р. Л. Кадис

Руководитель научно-исследовательского отдела
государственных эталонов
в области физико-химических измерений



Д. А. Конопелько

Бюджет неопределенности измерений
массовой концентрации сульфатов
в пробах питьевой и природных вод
титрованием солью бария с индикатором ортаниловым К
на основе тест-комплекта "Сульфаты"

Относительная расширенная неопределенность измерений U_r (%) получена по формуле:

$$U_r = k \sqrt{u_r^2 + \Delta^2 + u_\Delta^2}$$

здесь: u_r - относительная суммарная стандартная неопределенность, %;

Δ - смещение, отнесенное к значению величины, %;

u_Δ - неопределенность смещения, %;

$k = 2$ - коэффициент охвата.

Относительная суммарная стандартная неопределенность (без учета смещения) u_r получена как

$$u_r = \sqrt{s_r^2 + u_r^2 + u_t^2 + u_{раз}^2}$$

здесь: s_r - относительное стандартное отклонение результатов измерений, %;

u_r - относительная стандартная неопределенность, связанная с приготовлением раствора титранта, %;

u_t - относительная стандартная неопределенность, связанная изменением температуры окружающего воздуха, %;

$u_{раз}$ - относительная стандартная неопределенность, связанная с предварительным разбавлением пробы, %.

Составляющая неопределенности	Относительная стандартная неопределенность, %		
	Массовая концентрация сульфатов, мг/дм ³		
	50	100	300
1. Случайный разброс результатов измерений ¹	1,8	1,6	0,9
2. Приготовление раствора титранта ² – раствор BaCl ₂ с молярной концентрацией эквивалента 0,1 моль/дм ³ – раствор BaCl ₂ с молярной концентрацией эквивалента 0,02 моль/дм ³	0,6 0,4		
3. Изменение температуры окружающего воздуха ³	0,2		
4. Предварительное разбавление пробы	1,4		
Относительная суммарная стандартная неопределенность u, %	2,4	2,3	1,8
Оценка смещения ⁴ , % – смещение Δ – неопределенность смещения u _Δ	2,7 1,2	3,1 1,2	1,6 1,0
Относительная расширенная неопределенность U, % (k = 2) принято	7,6	8,1	5,2
	8		

Примечания:

1. Случайный разброс выражен через стандартное отклонение среднего из двух параллельных определений. Оценка получена при экспериментальных исследованиях, выполненных в лаборатории Производственно-лабораторного комплекса ЗАО "Крисмас+" в июле-августе 2012 г.
2. Оценка неопределенности получена исходя из допускаемых пределов $\pm 1\%$ для коэффициента поправки титрованных растворов, приготовленных из фиксаналов (ТУ 6-09-2540-87), и пределов допускаемой погрешности мерной посуды.
3. Оценка неопределенности получена в предположении равномерного распределения значений температуры в диапазоне от 10 °С до 35 °С исходя из коэффициента объемного расширения воды и разбавленных водных растворов $\alpha = 2,1 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.
4. Оценка смещения получена при экспериментальных исследованиях на растворах с массовой концентрацией сульфат-ионов 50, 100 и 300 мг/дм³, приготовленных из ГСО 7684-99.

Ведущий специалист



Р. Л. Кадис