

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ СУММЫ ЛЕТУЧИХ ФЕНОЛОВ В ВОДАХ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ПОСЛЕ ОТГОНКИ С ПАРОМ. РД 52.24.488-95 (УТВ. РОСГИДРОМЕТОМ 21.07.1994)

Утверждаю

Начальник ГУЭМЗ
Росгидромета
Ю.С. ЦАТУРОВ
21 июля 1994 года

Дата ведения -
1 января 1995 года

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.
МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ
СУММЫ ЛЕТУЧИХ ФЕНОЛОВ В ВОДАХ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ
ПОСЛЕ ОТГОНКИ С ПАРОМ

РД 52.24.488-95

Предисловие

1. Разработан Гидрохимическим институтом.
2. Разработчики: Л.В. Боева, канд. хим. наук (руководитель разработки), Е.В. Анистратенко.
3. Утвержден и введен в действие Начальником ГУЭМЗ Росгидромета Цатуровым Ю.С. 21.07.94.
4. Одобрен Секцией по методам химического и радиологического мониторинга природной среды ЦКПМ Росгидромета 21.06.94, протокол N 1.
5. Свидетельство об аттестации МВИ выдано Гидрохимическим институтом в 1994 г., N 143.
6. Зарегистрирован ЦКБ ГМП в 1995 г., N 488.
7. Взамен РД 52.24.34-86, РД 52.24.143-94.

Введение

Фенолы - производные бензола с одной или несколькими гидроксильными группами. Группа гидроксипроизводных бензола, объединяемая термином "летучие фенолы", включает в себя ряд соединений, перегоняющихся с водяным паром. Обычно к ним относят фенол, крезолы, ксиленолы, этилфенолы, гваякол и некоторые другие производные фенола с небольшими алкильными радикалами.

В естественных условиях фенолы образуются в процессе метаболизма водных организмов, при биохимическом распаде и трансформации органических веществ. Содержание фенолов в незагрязненных поверхностных водах, как правило, не превышает 0,3 мкг/куб. дм. Для сточных вод некоторых отраслей промышленности - химической, коксо- и нефтехимической, текстильной, целлюлозно-бумажной - фенольное загрязнение достаточно характерно. Эти сточные воды и являются основными источниками антропогенного поступления фенолов в водные объекты.

Фенолы являются неустойчивыми веществами, они легко окисляются и подвергаются биохимической деградациии. Вследствие этого в существенных концентрациях они могут наблюдаться лишь при дефиците

кислорода, а также при низких температурах. Наименее устойчивым является сам фенол, его алкильные производные более устойчивы.

Предельно допустимая концентрация летучих фенолов в водах в пересчете на фенол составляет 1 мкг/куб. дм.

1. Назначение и область применения методики

Настоящий Руководящий документ устанавливает фотометрическую методику выполнения измерений массовой концентрации летучих фенолов в пробах поверхностных вод суши и очищенных сточных вод в диапазоне 2 - 30 мкг/куб. дм в пересчете на фенол. При анализе проб воды с массовой концентрацией летучих фенолов, превышающей 30 мкг/куб. дм, необходимо соответствующее разбавление пробы свежeproкипяченной дистиллированной водой.

2. Нормы погрешности и значения характеристик погрешности измерения

В соответствии с ГОСТ 27384 нормы погрешности при выполнении измерений летучих фенолов в природных водах в диапазоне массовых концентраций 1 - 5 мкг/куб. дм составляют +/- 50%, свыше 5 - 20 мкг/куб. дм - +/- 25%, свыше 20 мкг/куб. дм - +/- 10%. При выполнении измерений в сточных водах нормы погрешности составляют -65%, +100% в диапазоне массовых концентраций 10 мкг/куб. дм и менее, +/- 50% - свыше 10 мкг/куб. дм до 10 мг/куб. дм и +/- 25% - свыше 10 мг/куб. дм.

Установленные для настоящей методики значения характеристик погрешности и ее составляющих приведены в таблице 1.

Таблица 1

ЗНАЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОГРЕШНОСТИ И ЕЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ
(P - 0,95)

Диапазон измеряемых концентраций летучих фенолов, С, мкг/куб. дм	Характеристики составляющих погрешности, мкг/куб. дм		Характеристика погрешности, мкг/куб. дм, ДЕЛЬТАА
	случайной, СИГМА (ДЕЛЬТА)	систематической, ДЕЛЬТА С	
2,0 - 22,0	0,5 + 0,04С	0,5 + 0,05С	1,1 + 0,099С
св. 22,0 - 30,0	1,0	0,5 + 0,05С	1,8 + 0,033С

При выполнении измерений в пробах с массовой концентрацией летучих фенолов свыше 30 мкг/куб. дм после соответствующего разбавления погрешность измерения не превышает ДЕЛЬТА x n, где ДЕЛЬТА - погрешность измерения концентрации летучих фенолов в разбавленной пробе; n - степень разбавления.

3. Метод измерений

Определение основано на отгонке фенолов из подкисленной пробы воды, взаимодействии фенолов в отгоне с 4-аминоантипирином в присутствии гексацианоферрата (III) калия и экстракции окрашенного соединения хлороформом. Оптическую плотность экстракта измеряют на спектрофотометре (лямбда = 460 нм) или фотоэлектроколориметре (лямбда = 460 - 490 нм).

Мешающие влияния на определение фенолов могут оказать интенсивно окрашенные соединения кислого характера, а также сильные восстановители (например сульфиты), способные отгоняться с паром. Мешающее влияние других веществ устраняется в процессе отгонки.

4. Средства измерений, вспомогательные устройства, реактивы, материалы

4.1. Средства измерений и вспомогательные устройства

4.1.1. Фотозлектроколориметр типа КФК-2, КФК-2мп (КФК-3) по ТУ 3.3.1766, ТУ 3.3.1860 или спектрофотометр типа СФ-46 (СФ-26).

4.1.2. Весы аналитические 2 класса точности по ГОСТ 24104.

4.1.3. Весы технические лабораторные 4 класса точности по ГОСТ 24104 с пределом взвешивания 200 г.

4.1.4. рН-метр типа рН-150, рН-155 по ТУ 25-7410.003, ТУ 25-7416.0171 или иономер типа Анион-210, Анион-214.

4.1.5. Термометр по ГОСТ 29224 с диапазоном 0 - 100 -С.

4.1.6. Шкаф сушильный общелабораторного назначения по ГОСТ 13474.

4.1.7. Плитки электрические с закрытой спиралью и регулируемой мощностью нагрева по ГОСТ 14919.

4.1.8. Колбы мерные не ниже 2 класса точности по ГОСТ 1770 вместимостью:

50 куб. см - 1

100 куб. см -- 1

4.1.9. Колбы мерные или пробирки градуированные с притертой пробкой по ГОСТ 1770 вместимостью:

25 куб. см - 12

4.1.10. Пипетки градуированные не ниже 2 класса точности по ГОСТ 29227 вместимостью:

2 куб. см - 1

5 куб. см - 5

4.1.11. Пипетка с одной отметкой не ниже 2 класса точности по ГОСТ 29169 вместимостью:

5 куб. см - 1

4.1.12. Цилиндры мерные по ГОСТ 1770 вместимостью:

10 куб. см - 3

25 куб. см - 1

50 куб. см - 2

500 куб. см -- 2

4.1.13. Воронки делительные по ГОСТ 25336 вместимостью:

0,7 - 1 куб. дм - 6

4.1.14. Стаканы химические по ГОСТ 25336 вместимостью:

100 куб. см -- 2

500 куб. см -- 1

1000 куб. см - 1

4.1.15. Воронки лабораторные для фильтрования по ГОСТ 25336 диаметром:

3 см - 7

6 см - 2

4.1.16. Стаканчики для взвешивания (бюксы) по ГОСТ 25336

2

4.1.17. Установка для отгонки фенолов (колба плоскодонная термостойкая вместимостью 1 куб. дм, каплеуловитель с отводом, холодильник) по ГОСТ 25336

6

4.1.18. Колбы конические по ГОСТ 25336 вместимостью:

500 куб. см -- 6

4.1.19. Колбы конические или плоскодонные термостойкие по ГОСТ 25336 вместимостью:

1 - 2 куб. дмм - 3

4.1.20. Колба Вюрца (колба с отводом) по ГОСТ 25336 вместимостью:

50 куб. см - 1

4.1.21. Установка для перегонки растворителей с дефлегматором длиной не менее

- 25 см по ГОСТ 25336 1
- 4.1.22. Палочка стеклянная 1
- Допускается использование других типов средств измерений, посуды и вспомогательного оборудования, в том числе импортных, с характеристиками не хуже, чем у приведенных в 4.1.
- 4.2. Реактивы и материалы
- 4.2.1. Стандартный образец фенола или фенол кристаллический по ГОСТ 6417, ч.д.а.
- 4.2.2. Хлороформ, по ГОСТ 20015, очищенный.
- 4.2.4. Гидроксид натрия NaOH по ГОСТ 4328, ч.д.а.
- 4.2.5. Хлорид натрия NaCl по ГОСТ 4233, ч.д.а. или ч.
- 4.2.7. Хлорид аммония NH₄Cl по ГОСТ 3773, ч.д.а.
- 4
- 4.2.8. Аммиак водный, концентрированный по ГОСТ 3760, ч.д.а.
- 4.2.9. Гексацианоферрат(III) калия K₃[Fe(CN)₆] по ГОСТТ 4206, ч.д.а.
- 3 6
- 4.2.10. 4-Аминоантипирин по ТУ 6-09-3948, ч.д.а.
- 4.2.11. Соляная кислота HCl по ГОСТ 3118, ч.д.а.
- 4.2.12. Серная кислота H₂SO₄ по ГОСТ 4204, ч.д.а.
- 2 4
- 4.2.13. Сульфат меди, пентагидрат CuSO₄ · 5H₂O, ч.д.а.
- 4 2
- 4.2.14. Спирт этиловый по ГОСТ 11547.
- 4.2.15. Фильтры обеззоленные "белая лента" по ТУ 6-09-1678.
- 4.2.16. Вата хлопковая по ГОСТ 5556 или вата стеклянная.
- 4.2.17. Вода дистиллированная по ГОСТ 6709.
- Допускается использование реактивов, изготовленных по другой нормативно-технической документации, в том числе импортных, с квалификацией, не ниже указанной в 4.2.

5. Отбор и хранение проб

Отбор проб производится в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05. Пробы отбирают в стеклянные склянки вместимостью 1 куб. дм. Анализ проб должен быть выполнен не позднее 4 ч с момента отбора пробы. Допустимо хранение проб в течение суток в холодильнике при t < 5 -С.

6. Подготовка к выполнению измерений

6.1. Приготовление растворов и реактивов

6.1.1. Аммонийно-аммиачный буферный раствор с pH 10,0 - 10,2

50 г хлорида аммония растворяют в 50 куб. см дистиллированной воды, добавляют 350 куб. см концентрированного раствора аммиака и проверяют pH раствора по pH-метру. Если значение pH раствора отличается от величины 10,0 - 10,2, необходимо добавить раствор аммиака (при pH < 10) либо хлорид аммония, или соляную кислоту (при pH > 10,2). На следующий день необходимо опять провести контроль pH и при необходимости довести его до нужной величины. Контроль следует осуществлять каждые 7 дней. Раствор устойчив при хранении в полиэтиленовой посуде.

6.1.2. Раствор 4-аминоантипирина, 2%

1,0 г 4-аминоантипирин растворяют в 50 куб. см дистиллированной воды, фильтруют и переносят в посуду из темного стекла. Раствор хранят в холодильнике в течение 7 дней, при комнатной температуре в темном месте - не более 3 дней. Для выполнения определений пригоден раствор, имеющий бледно-желтую окраску. При появлении темно-желтой или бурой окраски следует приготовить свежий раствор, либо взять другой 4-аминоантипирин.

6.1.3. Раствор гексацианоферрата(III) калия, 8%

4 г К [Fe(CN)₃]₆ растворяют в 50 куб. см дистиллированной воды, фильтруют, переносят в склянку из темного стекла. Раствор хранят в холодильнике в течение 7 дней, при комнатной температуре в темном месте – не более 3 дней.

6.1.4. Раствор серной кислоты, 10%

К 450 куб. см дистиллированной воды, помещенной в термостойкий химический стакан, при непрерывном перемешивании приливают 28 куб. см концентрированной серной кислоты. Раствор охлаждают. Срок хранения не ограничен.

6.1.5. Раствор сульфата меди, 10%

50 г CuSO₄ · 5H₂O растворяют в 450 куб. см дистиллированной воды. Раствор устойчив.

6.1.6. Раствор гидроксида натрия, 0,05 моль/куб. дм

2 г NaOH растворяют в 1 куб. дм дистиллированной воды. Раствор хранят в полиэтиленовой посуде. Срок хранения не ограничен.

6.2. Приготовление градуировочного раствора

Градуировочные растворы, аттестованные по процедуре приготовления, готовят из стандартного образца или кристаллического фенола.

Для всех градуировочных растворов погрешности, обусловленные процедурой приготовления, не превышают 2% относительно приписанного значения массовой концентрации фенола.

6.2.1. Приготовление градуировочного раствора фенола с массовой концентрацией 5 мкг/куб. см из стандартного образца

Для приготовления градуировочного раствора из стандартного образца с массовой концентрацией фенола 0,1 мг/куб. см вскрывают ампулу, пипеткой отбирают 5,0 куб. см раствора, переносят в мерную колбу вместимостью 100 куб. см, доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают. Хранят раствор в холодильнике не более 3 сут.

6.2.2. Приготовление градуировочного раствора из кристаллического фенола

Основной раствор фенола. Навеску около 0,1 г взвешивают на аналитических весах с точностью до четвертого знака после запятой, количественно переносят в мерную колбу вместимостью 50 куб. см с помощью этилового спирта, растворяют фенол, доводят раствор до метки и перемешивают. Массовую концентрацию фенола в полученном растворе рассчитывают по формуле:

$$C = \frac{a \times 1000}{50} = 20 \times a, \quad (1)$$

где:

C – массовая концентрация фенола в основном растворе, мг/куб. см;

a – навеска фенола, г.

Хранят раствор в склянке с плотно закрывающейся пробкой в холодильнике не более 6 месяцев.

Для приготовления раствора допускается использовать препарат бесцветный или со слабо-розовой окраской, при более интенсивной окраске фенол следует перегонять. Установка для перегонки фенола изображена на рисунке (не приводится).

Для уменьшения теплообмена колбу следует обернуть стеклотканью или асбестовым полотном. Для перегонки берут не более 1 г вещества. Первые две-три капли отгона отбрасывают, а следующую порцию собирают во взвешенный заранее на аналитических весах вместе с крышкой бюкс. После этого бюкс вновь взвешивают. Полученную навеску полностью используют для приготовления

раствора. Контроль температуры не обязателен, однако для удобства можно вместо пробки закрыть колбу термометром со шлифом с соответствующим диапазоном температур. Температура кипения фенола - 182 -С.

Промежуточный раствор фенола. Рассчитывают объем основного раствора, который необходимо взять для получения раствора с массовой концентрацией фенола 100 мкг/куб. см:

$$V = \frac{100 \times 50}{C \times 1000} = \frac{5}{C}, \quad (2)$$

где:

V - объем основного раствора фенола, куб. см;

C - массовая концентрация фенола в основном растворе, мг/куб. см.

Рассчитанный объем запасного раствора градуированной пипеткой помещают в мерную колбу вместимостью 50 куб. см, доводят спиртом до метки и перемешивают. Хранят в холодильнике не более одного месяца.

Градуировочный раствор с массовой концентрацией фенола 5 мкг/куб. см. Отбирают пипеткой с одной отметкой 5,0 куб. см промежуточного раствора фенола, переносят его в мерную колбу вместимостью 100 куб. см и доводят до метки дистиллированной водой. Срок хранения в холодильнике - не более 3 сут.

6.3. Установление градуировочной зависимости

В делительные воронки вместимостью 0,8 - 1 куб. дм помещают 0,5 куб. дм свежeproкипяченной и быстро охлажденной дистиллированной воды. В воду добавляют 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 куб. см градуировочного раствора с массовой концентрацией фенола 5 мкг/куб. см. Массовая концентрация фенола в полученных растворах составит соответственно 0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 25,0; 30,0 мкг/куб. дм. Эти растворы анализируют, как описано в разделе 7 "Выполнение измерений" (без отгонки).

Градуировочную зависимость строят в координатах: массовая концентрация фенола, мкг/куб. дм, - оптическая плотность пробы за вычетом оптической плотности холостого опыта или рассчитывают методом наименьших квадратов.

Проверку градуировочной зависимости осуществляют не реже одного раза в квартал. При использовании другой партии 4-аминоантипирина или $K_3[Fe(CN)_6]$, а также другого прибора

устанавливают новую градуировочную зависимость.

6.4. Регенерация хлороформа

Использованный хлороформ собирают в отдельную склянку и затем регенерируют. Для этого слив хлороформа помещают в делительную воронку вместимостью 1 куб. дм, добавляют равный объем дистиллированной воды и встряхивают воронку 2 мин. После расслоения фаз хлороформ переносят в другую воронку, вновь добавляют равный объем воды и повторяют промывание. После отстаивания хлороформ фильтруют через слой ваты или 2 - 3 неплотных бумажных фильтра в перегонную колбу. Перегоняют хлороформ, отбирая фракцию, кипящую при $t = 60,5 - 62,0$ -С. Первую порцию отгона, кипящую ниже 60,5 -С, возвращают в слив, а остаток после отгонки отбрасывают.

7. Выполнение измерений

Мерным цилиндром отбирают 500 куб. см анализируемой воды и помещают ее в колбу для отгонки. Добавляют 5 куб. см 10% раствора сульфата меди и 10 куб. см 10% раствора серной кислоты. Колбу

помещают на электроплитку, присоединяют каплеуловитель и холодильник. Для уменьшения теплообмена колбу оборачивают асбестовым полотном или стеклотканью. Выходной отросток холодильника опускают в колбу вместимостью 0,5 куб. дм, в которую предварительно помещают 10 куб. см раствора гидроксида натрия 0,05 моль/куб. дм. Нижний конец трубки холодильника должен быть погружен в этот раствор. При необходимости его можно удлинить, пристыковав вплотную к трубке холодильника стеклянную трубку нужной длины.

Нагрев колбы должен быть достаточно сильным так, чтобы отгонка пробы не превышала 3 ч, однако кипение пробы должно быть равномерным, спокойным; бурное кипение недопустимо. По мере увеличения объема отгона колбу опускают так, чтобы трубка холодильника не была погружена в отгон более, чем на 3 см. Когда объем отгона в колбе составит около 460 куб. см (на колбе заранее следует сделать соответствующую метку), отгонку прекращают.

Отгон переносят в делительную воронку вместимостью 0,8 - 1 куб. дм, споласкивают колбу 30 - 40 куб. см дистиллированной воды и переносят ее в ту же воронку. Прибавляют 10 куб. см буферного раствора, 3 куб. см 2% раствора 4-аминоантипирина и 3 куб. см 8% раствора гексацианоферрата(III) калия, перемешивая пробу после добавления каждого раствора, и оставляют на 10 - 15 мин. Затем дважды экстрагируют пробу хлороформом, используя для первой экстракции 20 куб. см, второй - 10 куб. см хлороформа. Первую экстракцию выполняют в течение 2 мин., вторую - 1 мин. После расслоения фаз хлороформные экстракты фильтруют через комочек хлопковой или стеклянной ваты в мерную колбу или градуированную пробирку вместимостью 25 куб. см и доводят объем до метки чистым хлороформом.

Оптическую плотность экстракта измеряют на спектрофотометре при длине волны 460 нм или фотоэлектроколориметре при длине волны 460 - 490 нм в кюветах длиной 5 см.

Одновременно с пробами выполняют холостой опыт, используя 500 куб. см свежeproкипяченной дистиллированной воды. Оптическую плотность холостого опыта вычитают из оптической плотности проб.

Если содержание фенолов превышает 30 мкг/куб. дм, для отгонки берут меньшую аликвоту анализируемой воды и разбавляют ее свежeproкипяченной дистиллированной водой до объема 500 куб. см.

8. Вычисление результатов измерений

Массовую концентрацию летучих фенолов в анализируемой пробе воды C , мкг/куб. дм, находят по градуировочной зависимости.

Если перед определением проводилось разбавление пробы, результат, найденный по градуировочной зависимости, умножают на коэффициент $n = 0,5 / V$, где V - аликвота пробы воды, взятая для анализа, куб. дм.

Результат измерения в документах, предусматривающих его использование, представляют в виде:

$$C \pm \text{ДЕЛЬТА}, \text{ мкг/куб. дм } (P = 0,95), \quad (3)$$

где ДЕЛЬТА - характеристика погрешности измерения для данной массовой концентрации фенолов (таблица 1).

Численные значения результата измерения должны оканчиваться цифрой того же разряда, что и значения характеристики погрешности.

9. Контроль погрешности измерений

Оперативный контроль погрешности проводят с использованием образцов для контроля. Периодичность контроля - не менее одной контрольной на 15 - 20 рабочих проб за период, в течение которого условия проведения анализа неизменны.

Образцами для контроля являются аттестованные по процедуре приготовления раствора фенола в свежeproкипяченной дистиллированной воде, имеющие концентрации, близкие к концентрациям фенола в анализируемой воде. Образцы для контроля готовят на основе стандартного образца фенола или градуировочного раствора с концентрацией 5 мкг/куб. дм, приготовленного в соответствии с 6.2.

Состав и количество образцов для контроля представлены в таблице 2.

Таблица 2

СОСТАВ И КОЛИЧЕСТВО ОБРАЗЦОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

	Т	Т	Т
Номер аттестованного раствора	1	2	3
Концентрация фенола, С, мкг/куб. дм	2,5	10,0	30,0

При контроле погрешности с применением образцов для коонтроля сравнивают разность между результатом определения конценнтрации фенола в образцах (С) и его истинным (аттестованным) значением x (С) с нормативом контроля (К).

Результат контроля признают удовлетворительным, если:

$$|C_x - C_p| \leq K \tag{4}$$

Норматив контроля (К) рассчитывают по формуле:

$$K_v = 0,84 \times \text{ДЕЛЬТА} (P = 0,95), \tag{5}$$

где ДЕЛЬТА - характеристика погрешности измерения концентрации фенола в образце для контроля (таблица 1).

При превышении норматива повторяют определение. При повторном превышении норматива выясняют причины, приводящие к неудовлетворительным результатам и устраняют их.

10. Требования безопасности

10.1. При выполнении измерений массовой концентрации фенолов в пробах природных и очищенных сточных вод соблюдают требования безопасности, установленные в "Правилах по технике безопасности при производстве наблюдений и работ на сети Госкомгидромета", Л., Гидрометеиздат, 1983, или в "Типовой инструкции по технике безопасности для гидрохимических лабораторий служб Роскомвода", М., 1995.

10.2. По степени воздействия на организм вредные вещества, используемые при выполнении определений, относятся ко 2, 3 классам опасности по ГОСТ 12.1.007.

10.3. Содержание используемых вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать установленных предельно

допустимых концентраций в соответствии с ГОСТ 12.1.005.

10.4. Определение следует проводить при наличии вытяжной вентиляции.

10.5. Оператор, использующий кристаллический фенол для приготовления градуировочного раствора, должен быть проинструктирован о специфических мерах предосторожности.

11. Требования к квалификации оператора

К выполнению измерений и обработке их результатов допускаются лица со средним профессиональным образованием и стажем работы в лаборатории не менее 1 года, освоившие методику анализа.

12. Затраты времени на проведение анализа

На приготовление растворов и реактивов в расчете на 100 определений - 2,5 чел.-ч.

На установление градуировочной зависимости - 2,5 чел.-ч.

На определение фенолов в единичной пробе (без учета времени отгонки пробы) - 0,8 чел.-ч.

На определение фенолов в серии из 10 проб (без учета времени отгонки пробы) - 5,0 чел.-ч.

Затраты времени на подготовку посуды включены в затраты времени на проведение анализа.