

УДК 504.064:543.43

**АПРОБАЦИЯ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДИК  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

В.В. Морозова, Е.В. Ларионова

Томский политехнический университет

E-mail: [evl@tpu.ru](mailto:evl@tpu.ru)

**Морозова Виктория Викторовна**, магистрант кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Института неразрушающего контроля ТПУ. E-mail: [evl@tpu.ru](mailto:evl@tpu.ru)  
Область научных интересов: анализ объектов окружающей среды.

**Ларионова Екатерина Владимировна**, канд. хим. наук, доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Института неразрушающего контроля ТПУ. E-mail: [evl@tpu.ru](mailto:evl@tpu.ru)  
Область научных интересов: анализ объектов окружающей среды, хемометрическая обработка аналитических сигналов, электрохимия.

В данной работе освещены актуальные вопросы совершенствования приборного оснащения фотометрических методов анализа для контроля качества объектов окружающей среды в учебных, научных и производственных целях. Целью данной работы является апробация методик фотометрического определения загрязнителей окружающей среды для модуля «Фотоколориметр» УЛК «Экологический мониторинг» и «ТА Эколаб-2», а также их реализация для контроля качества объектов окружающей среды. В данной работе проведена апробация фотометрического определения некоторых загрязнителей окружающей среды (железо (III), марганец (II), хром (VI), медь (II), фосфат-ионы) для модуля «Фотоколориметр» учебно-лабораторного комплекса «Экологический мониторинг» и «ТА Эколаб-2»: длина волны, толщина кюветы, концентрационный диапазон. Построены градуировочные характеристики и проведен их линейный регрессионный анализ. Показано, что для всех исследуемых методик закон светопоглощения выполняется, значимая систематическая погрешность отсутствует. Оценены метрологические характеристики:

правильность, повторяемость результатов, внутрилабораторная прецизионность и точность. Найдено, что для всех исследуемых приборов метрологические характеристики соответствуют значениям, полученным для аттестованного фотометра КФК-2. В данной работе также показана возможность использования модуля «Фотоколориметр» учебно-лабораторного комплекса «Экологический мониторинг» и «ТА Эколаб-2» при контроле содержания железа, марганца и фосфат-ионов в объектах окружающей среды.

**Ключевые слова:**

Фотометрический анализ, фотоколориметр, методика определения, железо, марганец, хром, медь, фосфаты.

**Введение**

Фотометрические методы анализа ввиду их большой чувствительности и избирательности, экспрессности и точности широко применяются при анализе различных природных сред. Простота, универсальность и доступность фотометрических методов обусловили их широкое применение в промышленно-санитарной аналитической химии для контроля загрязнений воздуха, воды и почвы [1, 2]. В связи с этим в учебном процессе изучению фотометрических методов анализа отводится довольно большая часть учебного времени в рамках дисциплин аналитической химии и экологического мониторинга.

Развитие фотометрических методов анализа и их изучение не может быть эффективным без соответствующего технического обеспечения.

Необходимость модернизации приборного оснащения лабораторий экологического и производственного мониторинга, а также учебно-лабораторной базы при проведении лабораторных работ по химии и экологии в настоящий момент не вызывает сомнений.

В последние годы совершенствование оснащения научных и производственных лабораторий контроля качества окружающей среды направлено на автоматизацию регистрации и об-

работки аналитического сигнала, миниатюризацию приборного оснащения с возможностью проведения анализа в полевых условиях.

Анализ оборудования и реальной практики проведения лабораторных работ в вузах РФ показал, что отдельные лабораторные работы проводятся с использованием различных приборов, самостоятельно объединенных в лабораторные установки, что снижает качество обучения. В связи с устойчивой тенденцией развития вузов стран СНГ в сторону современных образовательных технологий, максимально приближенных к международным образовательным стандартам, чрезвычайно актуально создание современных учебно-лабораторных комплексов, позволяющих перевести проведение практикумов по различным разделам естественных наук на качественно новый современный уровень и существенно интенсифицировать процесс обучения.

В последнее время среди научных групп Томского политехнического университета ведутся разработки универсальных учебно-лабораторных комплексов (УЛК), позволяющих проводить большой спектр лабораторных работ по химии и экологии, а также современных аналитических комплексов для научных и производственных целей [3–5]. Примерами подобных комплексов могут служить УЛК «Экологический мониторинг» и «ТА Эколаб-2». В состав данных комплексов входят модули для фотометрического анализа.

Несомненно, на рынке присутствуют аналоги разрабатываемых аналитических и учебных комплексов, решающие сложнейшие задачи анализа и контроля состояния объектов окружающей среды. Однако в полной мере вопросы оснащения подобными комплексами учебных и производственных лабораторий не могут быть решены в связи с их высокой стоимостью, а также дорогостоящим техническим и материальным обеспечением.

Одной из ключевых составляющих комплекса является методическое обеспечение. Однако отсутствие должного методического обеспечения разрабатываемых в ТПУ комплексов сдерживает их широкое распространение на рынке аналитического приборостроения и учебно-лабораторного оборудования. Кроме того, для обеспечения коммерческой привлекательности учебных и аналитических комплексов необходимо наличие широкого спектра реализуемых методик. При этом необходимо, чтобы для учебного комплекса работы охватывали различные темы и предусматривали различные по сложности выполнения уровни постановки работ, а для аналитического комплекса работы имели соответствующее метрологическое подтверждение.

Таким образом, целью данной работы является апробация методик фотометрического определения загрязнителей окружающей среды для модуля «Фотоколориметр» УЛК «Экологический мониторинг» и «ТА Эколаб-2», а также их реализация для контроля качества объектов окружающей среды.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить оптимальные условия фотометрического определения некоторых загрязнителей окружающей среды (железа общего, марганца (II), хрома (VI), меди (II) и фосфатов) на модуле «Фотоколориметр» УЛК «Экологический мониторинг» и «ТА Эколаб-2»;
- оценить метрологические характеристики фотометрического определения железа общего, марганца (II), хрома (VI), меди (II) и фосфатов;
- сравнить результаты измерений на модуле «Фотоколориметр» и «ТА Эколаб-2» с аттестованным фотометром;
- провести апробацию методик для контроля качества воздуха рабочей зоны и природных вод.

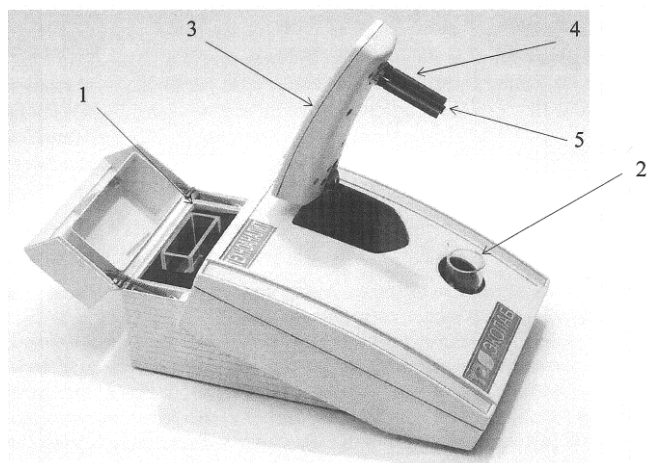
### Экспериментальная часть

В качестве прибора сравнения выбран аттестованный фотоколориметр российского производства КФК-2. Однолучевой фотоколориметр КФК-2 предназначен для измерения пропускания, оптической плотности и концентрации окрашенных растворов, рассеивающих взвесей, эмульсий и коллоидных растворов в области спектра 315–980 нм.

Объектами исследования являются приборы «ТА Эколаб-2» и модуль «Фотоколориметр» УЛК «Экологический мониторинг».

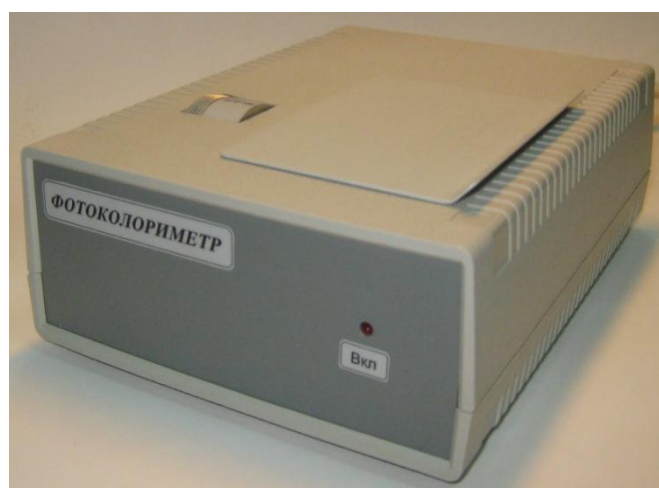
Комплекс «ТА Эколаб-2» предназначен для анализа вод (поверхностных, подземных, питьевых, сточных) и других экологических объектов и может быть использован, в частности,

при проведении работ по экологическому мониторингу и водоподготовке, включая изыскания, проектирование и эксплуатацию очистных установок. Внешний вид комплекса представлен на рис. 1. Комплекс включает в себя фотоколориметрическую кювету 1, сменную электрохимическую ячейку 2, кронштейн 3 для крепления потенциометрических 4 и кондуктометрических 5 электродов (датчиков). Измерения проводятся фотоколориметрическим, потенциометрическим и кондуктометрическим методами. Комплекс оснащен программным обеспечением. Программой калибруются все блоки комплекса, обрабатываются результаты измерений, рассчитывается концентрация и выдаются результаты с метрологическими характеристиками в виде протокола.



**Рис. 1.** Внешний вид комплекса «ТА Эколаб-2»

Модуль «Фотоколориметр» предназначен для измерения светопоглощения окрашенных растворов в полихроматическом пучке света в видимой области спектра (400–660 нм). Важнейшими частями фотоколориметра являются: источник излучения, монохроматор, кюветы с исследуемым раствором и раствором сравнения, приемник излучения, измерительное или регистрирующее устройство. Работой модуля можно управлять через компьютер либо автономно с помощью контроллера. Внешний вид модуля «Фотоколориметр» представлен на рис. 2.



**Рис. 2.** Внешний вид модуля «Фотоколориметр»

В случае использования для управления модулем компьютера в комплект поставки входит программное обеспечение. Данное программное обеспечение позволяет управлять работой фотометра (задавать длину волны, концентрацию и т. п.), а также проводить обработку полученных зависимостей, формировать отчеты по лабораторной работе.

При выборе фотометрической методики руководствовались следующими критериями: соответствие стандартам выполнения химического анализа объектов окружающей среды (ПНД

или ГОСТ) [6–8], стоимость и доступность реактивов, трудоемкость и время выполнения анализа, возможность самостоятельной работы студента. В данной работе были апробированы следующие методики:

1. Определение железа Fe (III) сульфосалициловой кислотой в щелочной среде.
2. Определение марганца Mn (II) с персульфатом аммония.
3. Определение хрома Cr (VI) дифенилкарбазидом.
4. Определение меди Cu (II) в виде аммиачного комплекса.
5. Определения содержания фосфат-ионов с молибдатом аммония.

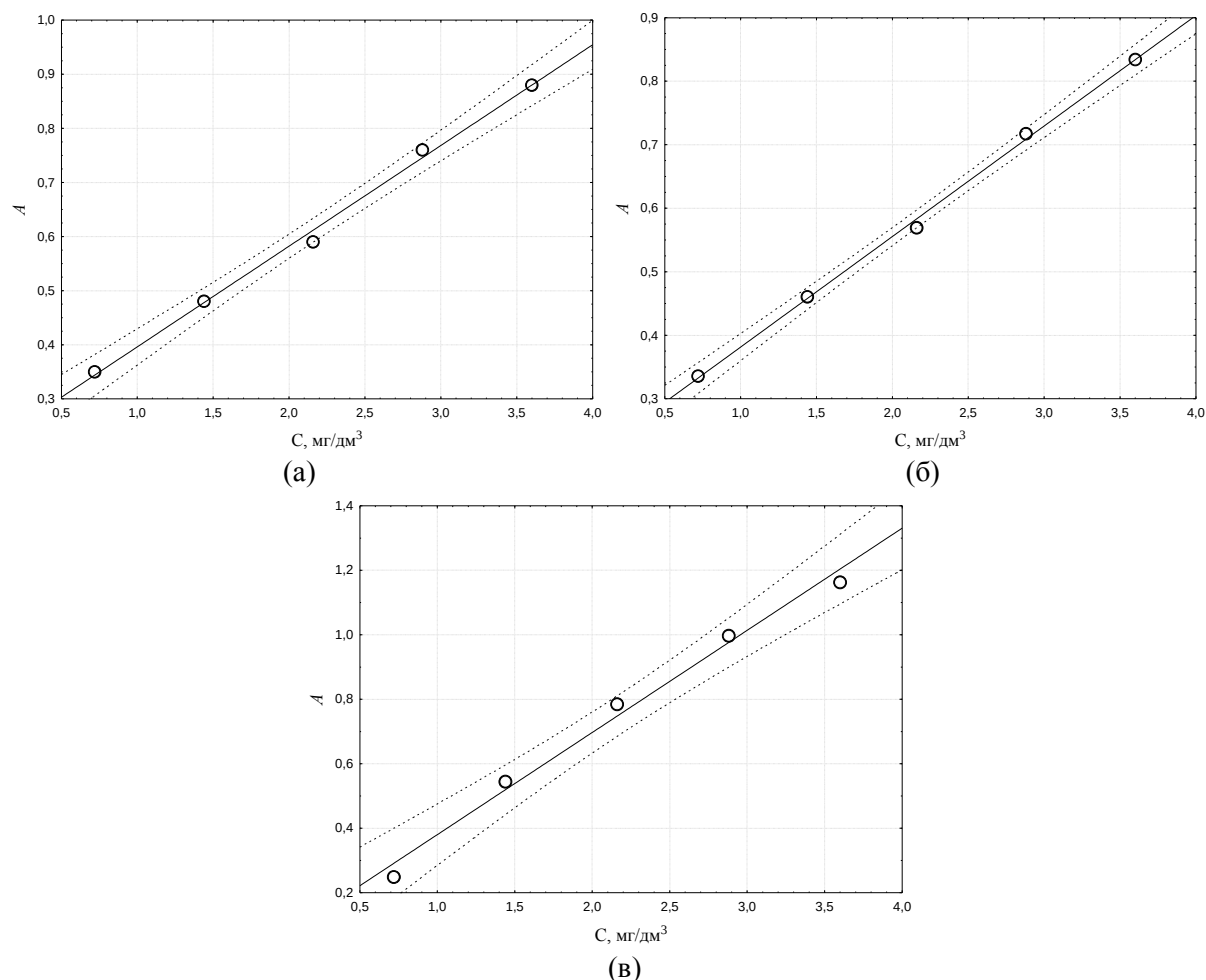
Проведена апробация данных методик как на модельных растворах, так и на реальных объектах окружающей среды (природные воды, воздух рабочей зоны). Реальные образцы проб были отобраны в водоемах города Томска и Томской области. Пробоподготовка была проведена обработкой проб: для определения железа (III) и хрома (VI) в пробу объемом 250 мл добавляют 5 см<sup>3</sup> концентрированной азотной кислоты; для определения фосфатов на 1 дм<sup>3</sup> пробы добавляют 4 см<sup>3</sup> хлороформа. Для фотометрического определения железа и марганца в данной работе отбор проб воздуха проводится с концентрированием на фильтры на рабочем месте сварщика в лаборатории Томского политехнического университета. Воздух с объемным расходом 20 л/мин аспирировали через фильтр АФА в течение 15 мин. Далее пробоподготовку проводили обработкой фильтр-пробы смесью кислот (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>) с последующим упариванием до мокрых солей.

### Результаты и их обсуждение

Исходя из закона Бугера–Ламберта–Бера, основными оптимизируемыми параметрами фотометрического определения являются концентрационный диапазон, длина волны и толщина кюветы. Длину волны выбирали исходя из известного значения максимума поглощения окрашенного соединения и его близости к длине волны имеющегося светодиода на модуле «Фотоколориметр». Для оптимизации концентрационного диапазона определения загрязняющих веществ, соответствующего нормам ПДК, была выбрана кювета с  $l = 3$  см. При необходимости снижения или увеличения диапазона определяемых концентраций можно использовать кюветы толщиной 1 и 5 см.

Качество выполнения фотометрического анализа характеризуется показателями повторяемости, точности, внутрилабораторной прецизионности. Указанные метрологические характеристики методик были рассчитаны по ГОСТ Р ИСО 5725 [9]. Правильность определения неизвестной концентрации оценивали методом «введено-найдено». Для оценки стабильности и воспроизводимости градуировочных характеристик и метрологических характеристик методик апробация включала в себя проведение трех экспериментов в разные дни и трех экспериментов в один день.

Для оптимизации концентрационного диапазона и проверки выполнения закона поглощения Бугера–Ламберта–Бера для всех методик были построены градуировочные характеристики и проведен их линейный регрессионный анализ. На примере фотометрического определения фосфат-ионов на рис. 3 приведены градуировочные характеристики, полученные на фотоколориметре КФК-2, модуле «Фотоколориметр» и комплексе «ТА Эколаб-2». В табл. 1 представлены результаты линейного регрессионного анализа для данных зависимостей.



**Рис. 3.** Градуировочный график определения фосфат-ионов на (а) фотокolorиметре КФК-2, (б) модуле «Фотокolorиметр» и (в) комплексе «ТА Эколаб-2»

**Таблица 1.** Результаты линейного регрессионного анализа градуировочных характеристик, полученных для фосфат-ионов на фотокolorиметре КФК-2, модуле «Фотокolorиметр» и комплексе «ТА Эколаб-2»

| КФК-2, $R = 0,99352345$ ; $p < 0,00001$ ; $S_r$ : 0,065603; $\alpha = 0,05$                   |                     |       |                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------|------------------------------------|
| Коэффициенты модели                                                                           | Оценка коэффициента | $S_r$ | Достигнутый уровень значимости $p$ |
| $A$                                                                                           | 0,03                | 0,02  | 0,235974                           |
| $B$                                                                                           | 0,38                | 0,03  | 0,000625                           |
| Модуль «Фотокolorиметр», $R = 0,99683222$ ; $p < 0,00001$ ; $S_r$ : 0,045919; $\alpha = 0,05$ |                     |       |                                    |
| Коэффициенты модели                                                                           | Оценка коэффициента | $S_r$ | Достигнутый уровень значимости $p$ |
| $A$                                                                                           | -0,01               | 0,01  | 0,539337                           |
| $B$                                                                                           | 0,29                | 0,01  | 0,000214                           |
| Комплекс «ТА Эколаб-2», $R = 0,99592338$ ; $p < 0,00001$ ; $S_r$ : 0,052089; $\alpha = 0,05$  |                     |       |                                    |
| Коэффициенты модели                                                                           | Оценка коэффициента | $S_r$ | Достигнутый уровень значимости $p$ |
| $A$                                                                                           | -0,05               | 0,03  | 0,155993                           |
| $B$                                                                                           | 0,65                | 0,03  | 0,000312                           |

Из табл. 1 видно, что гипотеза о линейности принимается для всех зависимостей, поскольку  $p < \alpha$ . Рассчитанный коэффициент корреляции  $R = 0,997$ , что подтверждает адекватность линейной модели. Таким образом, выполнение закона светопоглощения



подтверждается. Значимая систематическая погрешность отсутствует, т. к. для свободного коэффициента  $p > \alpha$ . Аналогичные выводы получены для остальных апробируемых методик.

Для оценки правильности используемой методики параллельно эксперименту с градуировочными растворами измерялись оптические плотности модельных растворов и рассчитывались их концентрации. Усредненные результаты представлены в табл. 2.

**Таблица 2.** Оценка правильности методики фотометрического определения железа (III), марганца (II), хрома (VI), меди (II), фосфат-ионов методом «введено-найденно»  $P = 0.95$ ,  $n = 3$ ,  $L = 3$ ,  $t_{\text{табл.}} = 4,303$  на модуле «Фотоколориметр» и комплексе «ТА Эколаб-2»

|                                                           |                                             |                              |                                                |                                             |                              |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|
| Модуль «Фотоколориметр» УЛК<br>«Экологический мониторинг» |                                             |                              | Комплекс «ТА Эколаб-2»                         |                                             |                              |
| Железо (III)                                              |                                             |                              |                                                |                                             |                              |
| Введено $C$ ,<br>мг/дм <sup>3</sup>                       | Найдено $C$ ,<br>мг/дм <sup>3</sup>         | $t_{\text{расч}} \cdot 10^4$ | Введено $C$ ,<br>мг/дм <sup>3</sup>            | Найдено $C$ , мг/дм <sup>3</sup>            | $t_{\text{расч}} \cdot 10^4$ |
| 0,3                                                       | 0,298±0,008                                 | 2,7                          | 0,3                                            | 0,28±0,02                                   | 4,9                          |
| 0,5                                                       | 0,490±0,010                                 | 4,2                          | 0,5                                            | 0,45±0,04                                   | 8,0                          |
| 0,7                                                       | 0,697±0,007                                 | 2,5                          | 0,7                                            | 0,69±0,01                                   | 4,3                          |
| Марганец (II)                                             |                                             |                              |                                                |                                             |                              |
| Введено $C_{\text{Мп}} \cdot 10^5$ ,<br>моль/л            | Найдено $C_{\text{Мп}} \cdot 10^5$ , моль/л | $t_{\text{расч}} \cdot 10^5$ | Введено $C_{\text{Мп}} \cdot 10^5$ ,<br>моль/л | Найдено $C_{\text{Мп}} \cdot 10^5$ , моль/л | $t_{\text{расч}} \cdot 10^5$ |
| 3,6                                                       | 3,4±0,1                                     | 14                           | 3,6                                            | 2,70±1,60                                   | 17                           |
| 5,0                                                       | 4,8±0,4                                     | 13                           | 5,0                                            | 1,10±0,60                                   | 17                           |
| 6,4                                                       | 5,0±2,0                                     | 71                           | 6,4                                            | 1,27±1,05                                   | 71                           |
| Хром (VI)                                                 |                                             |                              |                                                |                                             |                              |
| Модуль «Фотоколориметр» УЛК<br>«Экологический мониторинг» |                                             |                              | Прибор КФК-2                                   |                                             |                              |
| Введено $C$ ,<br>мг/дм <sup>3</sup>                       | Найдено $C$ ,<br>мг/дм <sup>3</sup>         | $t_{\text{расч}} \cdot 10^4$ | Введено $C$ ,<br>мг/дм <sup>3</sup>            | Найдено $C$ ,<br>мг/дм <sup>3</sup>         | $t_{\text{расч}} \cdot 10^4$ |
| 0,03                                                      | 0,030±0,010                                 | 4,1                          | 0,03                                           | 0,030±0,009                                 | 3,9                          |
| 0,05                                                      | 0,050±0,006                                 | 2,8                          | 0,05                                           | 0,050±0,010                                 | 4,6                          |
| 0,08                                                      | 0,079±0,007                                 | 3,3                          | 0,08                                           | 0,080±0,010                                 | 4,3                          |
| Медь (II)                                                 |                                             |                              |                                                |                                             |                              |
| Введено $C \cdot 10^3$ ,<br>моль/л                        | Найдено $C \cdot 10^3$ ,<br>моль/л          | $t_{\text{расч}} \cdot 10^4$ | Введено $C \cdot 10^3$ ,<br>моль/л             | Найдено $C \cdot 10^3$ , моль/л             | $t_{\text{расч}} \cdot 10^4$ |
| 1                                                         | 1,1±0,2                                     | 3,2                          | 1                                              | 1,0±0,1                                     | 2,9                          |
| 4                                                         | 3,9±0,2                                     | 4,2                          | 4                                              | 3,6±0,6                                     | 6,1                          |
| 7                                                         | 7,2±0,2                                     | 4,3                          | 7                                              | 6,8±0,2                                     | 3,1                          |
| Фосфат-ионы                                               |                                             |                              |                                                |                                             |                              |
| Модуль «Фотоколориметр» УЛК<br>«Экологический мониторинг» |                                             |                              | Комплекс «ТА Эколаб-2»                         |                                             |                              |
| Введено $C$ ,<br>мг/дм <sup>3</sup>                       | Найдено $C$ ,<br>мг/дм <sup>3</sup>         | $t_{\text{расч}} \cdot 10^4$ | Введено $C$ , мг/дм <sup>3</sup>               | Найдено $C$ ,<br>мг/дм <sup>3</sup>         | $t_{\text{расч}} \cdot 10^4$ |
| 0,4                                                       | 0,39±0,06                                   | 2,9                          | 0,4                                            | 0,410±0,090                                 | 3,5                          |
| 0,8                                                       | 0,79±0,06                                   | 2,9                          | 0,8                                            | 0,810±0,080                                 | 3,3                          |
| 1,2                                                       | 1,22±0,07                                   | 3,1                          | 1,2                                            | 1,189±0,060                                 | 3,0                          |

Исходя из полученных данных, было установлено, что расчетный коэффициент Стьюдента  $t_{\text{расч}}$  не превышает табличного  $t_{\text{табл.}}$ . Это свидетельствует об отсутствии значимой систематической погрешности на фоне случайного разброса данных.

Разработанные методики для модуля «Фотоколориметр» и комплекса «ТА Эколаб-2» оценены на правильность, повторяемость результатов, внутрилабораторную прецизионность и точность. Найдено, что показатели повторяемости, прецизионности и точности соответствуют значениям, полученным для аттестованного фотометра КФК-2.

В данной работе была проведена апробация фотометрического определения железа, хрома и фосфатов для контроля качества природных вод г. Томска и Томской области на модуле «Фотоколориметр» УЛК «Экологический мониторинг» и «ТА Эколаб-2».

В табл. 3–5 представлены результаты измерения концентрации железа (III), фосфат-ионов и марганца (II).

**Таблица 3.** Концентрация железа общего в водоемах города Томска и Томской области, определенная на модуле «Фотоколориметр» и комплексе «ТА Эколаб-2»

| Место отбора пробы                            | Модуль<br>«Фотоколориметр»<br>С, мг/л | Комплекс<br>«ТА Эколаб-2»<br>С, мг/л |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| р. Ушайка, п. Степановка, г. Томск            | 1,27±0,05                             | 1,33±0,05                            |
| р. Большая Киргизка, г. Томск                 | 1,45±0,05                             | 1,42±0,05                            |
| Университетское озеро, г. Томск               | 1,40±0,05                             | 1,42±0,05                            |
| Мавлюкеевское озеро, г. Томск                 | 0,20±0,05                             | 0,23±0,05                            |
| Огневое озеро, Парабельский р-н, Томская обл. | 0,83±0,05                             | 0,82±0,05                            |
| р. Сенная Курья, г. Томск                     | 0,27±0,05                             | 0,28±0,05                            |
| р. Ушайка, 300 м ниже коллектора, г. Томск    | 0,25±0,05                             | 0,28±0,05                            |
| р. Ушайка, п. Заварзино, Томская обл.         | 0,32±0,05                             | 0,35±0,05                            |

**Таблица 4.** Концентрация фосфат-ионов в Университетском озере г. Томска

| Модуль «Фотоколориметр»<br>С, мг/л | Комплекс «ТА Эколаб-2»<br>С, мг/л |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1,8±0,1                            | 1,9±0,1                           |

Как видно из табл. 3, содержание железа (III) в р. Ушайка в районе коллектора п. Степановка, р. Большая Киргизка в районе автомобильного моста, Университетском озере, Огневом озере Парабельского района и в р. Ушайка в районе п. Заварзино превышает значение ПДК (0,3 мг/дм<sup>3</sup>). Превышения содержания ПДК фосфат-ионов (3,5 мг/дм<sup>3</sup>) в исследуемых объектах не наблюдается (табл. 4).

В данной работе была показана возможность фотометрического определения железа и марганца в производственной атмосфере на модуле «Фотоколориметр» УЛК «Экологический мониторинг» и комплексе «ТА Эколаб-2» (табл. 5).

**Таблица 5.** Концентрация железа и марганца в воздухе рабочей зоны сварщика

| С, мг/м <sup>3</sup> | УЛК     | ТА Эколаб-2 |
|----------------------|---------|-------------|
| Fe                   | 4,3±0,3 | 4,9±0,3     |
| Mn                   | 7,8±0,2 | 7,9±0,2     |

Как видно из табл. 5, концентрация марганца в воздухе рабочей зоны превышает ПДК<sub>Mn</sub> = 0,6 мг/м<sup>3</sup>, а концентрация железа в воздухе рабочей зоны соответствует нормативу ПДК<sub>Fe</sub> = 6 мг/м<sup>3</sup>.

### Заключение

В данной работе найдены оптимальные условия фотометрического определения железа (III), марганца (II), хрома (VI), меди (II) и фосфатов на модуле «Фотоколориметр» УЛК «Экологический мониторинг» и комплексе «ТА Эколаб-2»: концентрационный диапазон, длина волны и толщина кюветы ( $l = 30$  мм). Результаты сведены в табл. 6.

**Таблица 6.** Оптимальные условия фотометрического определения загрязнителей на модуле «Фотоколориметр» и комплексе «ТА Эколаб-2»

| Загрязнитель  | $\lambda$ ,<br>нм | Концентрационный диапазон,<br>мг/дм <sup>3</sup> |
|---------------|-------------------|--------------------------------------------------|
| Железо (III)  | 400               | 0,10–1,00                                        |
| Марганец (II) | 525               | 0,50–4,00                                        |
| Хром (VI)     | 525               | 0,01–0,10                                        |
|               | 565               | 0,50–10,00                                       |
| Медь (II)     | 620               | 0,03–0,70                                        |
| Фосфат-ионы   | 660               | 0,30–1,00                                        |

Таким образом, модуль «Фотоколориметр» УЛК «Экологический мониторинг» может использоваться для анализа природных сред с целью промышленного экологического контроля, а также при выполнении лабораторных и выпускных квалификационных работ. Комплекс «ТА Эколаб-2» может использоваться для экологического мониторинга, промышленного экологического контроля.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пешкова В.М., Громова М.И. Методы абсорбционной спектроскопии в аналитической химии: учеб. пособие для университетов / Под ред. И.П. Алимарина. – М.: Высшая школа, 1976. – 280 с.
2. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологическая аналитическая химия: учеб. пособие. – 2-е изд., доп. – СПб.: Анатолия, 2002. – 464 с.
3. Пат. 38072 Учебно-демонстрационный прибор для практических занятий по химии / Тартынова М.И., Яговкин А.Ю. и др.; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет – № 2004102417/20(22); приоритет 2004.01.28.
4. Пат. 37223 Многофункциональный электрохимический комплекс / Бакибаев А.А.; Мержа А.Н. и др.; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет – № 2003136535/20(22); приоритет 2003.12.17.
5. Пат. 89704 Многофункциональный модельно-измерительный комплекс / заявитель и патентообладатель ООО «Универсальные образовательные технологии». – № 2009124970; приоритет 29.06.09.
6. Анализ воды: справочник: пер. с англ. / Под ред. Л. Ноллета; Л. Де Гелдера. – СПб.: Профессия, 2012. – 920 с.
7. Методы анализа загрязнений воздуха / Ю.С. Другов, А.Б. Беликов, Г.А. Дьякова и др. – М.: Химия, 1984. – 384 с.
8. Сборник санитарно-гигиенических нормативов и методов контроля вредных веществ в объектах окружающей природной среды. – М.: Искусство, 1991. – 370 с.
9. ГОСТ Р ИСО 5725-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений: в 6 ч. – Введ. 23.04.02. – М.: Госстандарт России, 2002.

Поступила 21.12.2014 г.