

А. М. Бессарабов, А. Н. Глушко, Т. И. Степанова,  
О. В. Стоянов

## КОМПЬЮТЕРНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ХИМИЧЕСКИХ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ РЕАГЕНТОВ

*Ключевые слова: экологический мониторинг, компьютерный менеджмент качества, CALS-технологии, противогололедные материалы.*

*На базе концепции CALS разработана система экологического мониторинга химических противогололедных материалов по основным компонентам окружающей среды (снежный покров и водные объекты, почвенный покров, зеленые насаждения, атмосферный воздух). Для каждой экологической составляющей в архитектуру системы введены важнейшие индикаторы качества с соответствующими методами анализа и приборами.*

*Keywords: environmental monitoring, computer quality management, CALS-technologies, anti-icing materials.*

*On the basis of the CALS-concept the system of environmental monitoring of chemical deicing materials on the main components of environment (snow cover and water objects, soil cover, green plantings, open air) was developed. For each environmental component the most important indicators of quality with the corresponding methods of their analysis and instrumentation were introduced into architecture of the system.*

### Введение

Каждый год в мире огромные количества противогололедных реагентов (ПГР) применяются на дорогах и каждый год в прессе активно обсуждаются возможные экологические последствия от применения реагентов [1]. Поднимается вопрос о переходе на новые «безвредные для окружающей среды» реагенты. Однако очевидно, что «чудо реагентов» в природе не существует, также как и нет абсолютно безвредных способов содержания дорог в зимнее время в чистом виде. Априори любое вмешательство в окружающую среду в таких масштабах, как это происходит на дорогах, неизбежно приводит к отрицательным последствиям в окружающей среде. Выигрывая в безопасности на дорогах, мы получаем взамен те или иные негативные последствия. Ситуация складывается так, что приходится выбирать между тем, чтобы сделать плохо или очень плохо. С определенными недостатками реагентов приходится мириться, так как других альтернативных экономически оправданных способов борьбы с зимней скользкостью не существует. Это является платой за возможность ездить по чистым дорогам, свободным ото льда и снежного наката. Вопрос экологической безопасности применяемых ПГР в настоящее время очень актуален, поэтому возникает необходимость детального и системного подхода в оценке потенциального воздействия реагентов на человека и природные объекты, а также установления рисков и ограничений, связанных с обращением данных продуктов [2, 3]. Для решения этих проблем нами проводится экологический компьютерный мониторинг состояния объектов окружающей среды, который позволяет дать достоверную оценку негативного воздействия применяемых ПГР по 4-м важнейшим экологическим кластерам: снег и водные объекты, почвенный покров, зеленые насаждения и атмосферный воздух.

Система мониторинга разрабатывалась на основе информационного CALS-стандарта ISO-10303 STEP в программном комплексе PSS Lite.

Конфигурация PSS Lite имеет двухуровневую архитектуру «Клиент-сервер» (Continuous Acquisition and Life-cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделия или продукта). В качестве сервера выступает модуль «Локальный сервер базы данных», входящий в дистрибутив клиентского модуля PSS. Любой компьютер, на котором установлен клиент PSS, может выступать в роли Lite-сервера БД. Данная конфигурация предназначена для работы с небольшими объемами данных при тестировании системы, отработке процедур работы с PSS, отладке приложений, написанных на PSS API.

### Структура системы экологического мониторинга воздействия ПГР

На основе концепции CALS была разработана система компьютерного менеджмента качества (КМК-система) для оценки экологического воздействия ПГР на окружающую среду. В качестве категория верхнего уровня (рис. 1) были выбраны различные объекты окружающей среды: снежный покров и водные объекты (категория № 1); почвенный покров (№ 2); зеленые насаждения (№ 3) и атмосферный воздух (№ 4). Необходимо отдельно рассматривать воздействие на окружающую среду большого объема основных компонентов ПГР и сопутствующих им наиболее потенциально опасных примесей. Для этого на 2-м уровне разработанной системы рассматриваются основные группы химических ПГР: хлориды, ацетаты, карбамиды и нитраты. На рисунке представлен элемент CALS-проекта для подкатегории № 1.1. «Хлориды». В рассматриваемой подкатегории, в свою очередь, выделено 3 подкатегории 2-го уровня, представляющие собой наименования химических веществ – основных компонентов ПГР: хлориды кальция, магния и натрия. Для каждого соединения в систему занесены 6 индикаторов качества, характеризующих степень воздействия ПГР на выбранный объект окружающей среды (рис. 1): массовая доля растворимых солей (подкатегория № 1), массовая доля нерастворимых в

воде веществ (№ 2), водородный показатель (№ 3), удельная эффективная активность естественных

радионуклидов (№ 4), массовая доля примесей (№ 5) и коррозионная активность на металл (№6).

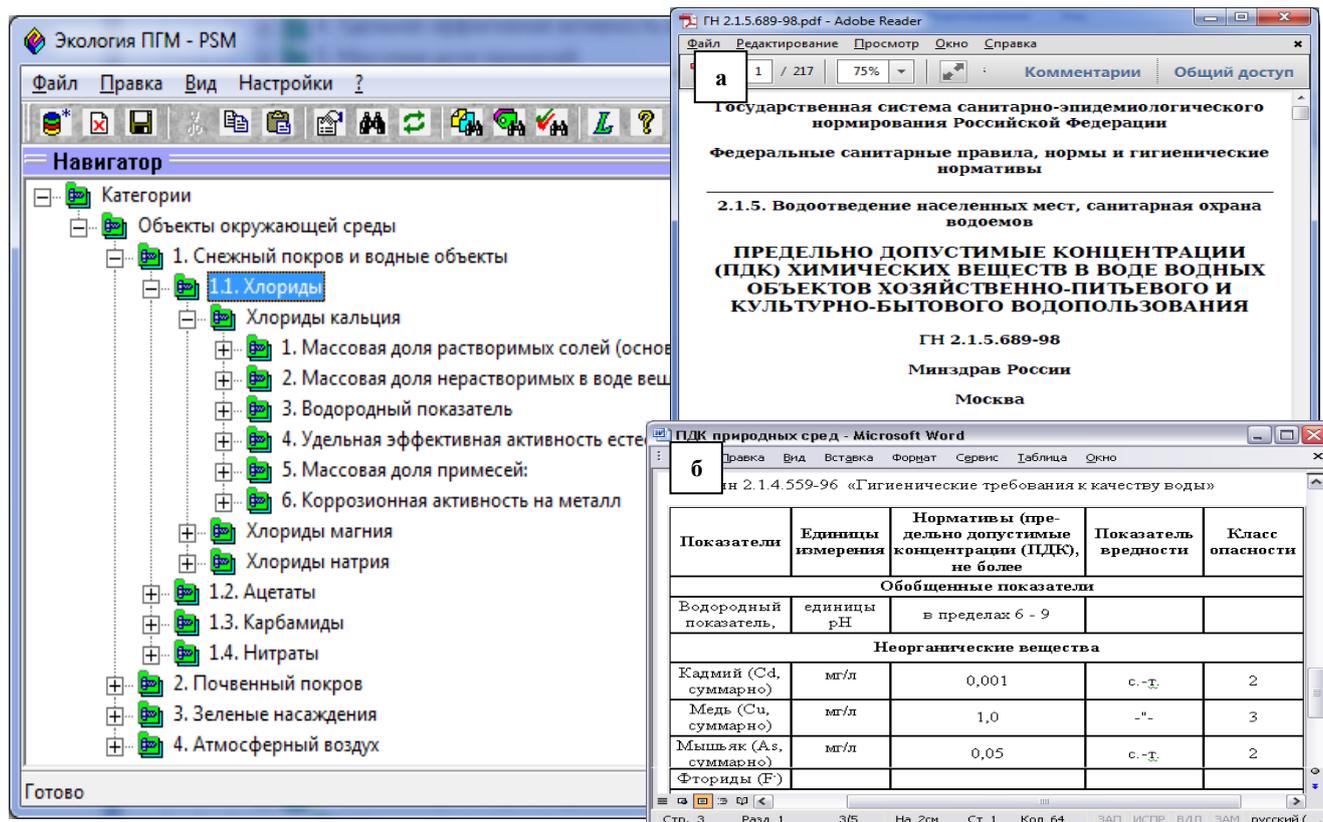


Рис. 1 – CALS-проект «Экологическое воздействие ПГР». Снег, водные объекты - Хлориды (а – гигиенические нормативы 2.1.5.689-98; б – таблица ПДК для воды)

Для каждого показателя в систему занесены все необходимые исследователю сведения о методе определения, используемом приборе и виде выходной документации. Определение массовой доли растворимых солей (подкатегория № 1) ведут титриметрическим методом, для которого в системе приведено несколько наименований используемых для этого цифровых бюреток различных марок (BRAND Titrette, BT-50 Stuart Scientific и др.). В качестве примера (рис. 1) представлен элемент CALS-проекта для подкатегории «Хлориды». Показано, что основным источником поступления хлоридов являются воды хозяйственной канализации, так как в них утилизируется основная масса снега, содержащего компоненты ПГР. Современная система очистки не позволяет очищать воду от ионов хлора. Все поступающие хлориды с ПГР после очистки воды от других загрязнений попадают в реки г. Москвы.

Массовая доля нерастворимых в воде веществ (подкатегория № 2) определяется гравиметрически. Навеску ПГР фильтруют через обеззоленный фильтр «синяя лента» (предварительно высушенный в сушильном шкафу при температуре 60-70 0С до постоянной массы). Осадок на фильтре промывают горячей водой до отрицательной реакции на хлорид-ион, а затем фильтр с осадком подвергается термообработке в сушильном шкафу. В КМК-системе представлено несколько вариантов сушиль-

ных шкафов различных фирм-производителей (Ulab, Umega, Экрос) для выбора сушильного устройства с различными габаритами, максимальной температурой и режимом сушки.

В КМК-системе определению водородного показателя (подкатегория № 3) поставлен в соответствие потенциометрический метод с использованием в качестве аналитического оборудования рН-метра. Метод основан на потенциометрическом измерении разницы потенциалов стеклянного электрода и электрода сравнения, погруженных в водный раствор ПГР. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов (подкатегория № 4) проводится методом радиометрии. Метод основан на измерении излучений, испускаемых радиоактивными элементами. В CALS-проекты занесены данные по различным рН-метрам и радиометрам отечественного и зарубежного производства.

### Аналитический мониторинг примесных компонентов химических ПГР

Наибольший интерес для нас представляет аналитический мониторинг, связанный с определением и занесением в КМК-систему примесных компонентов химических ПГР. Для этого в подкатегории № 5 «Массовая доля примесей» выделено 3 подкатегории четвертого уровня, объединенных по способу определения рассматриваемых примесей (рис. 2).

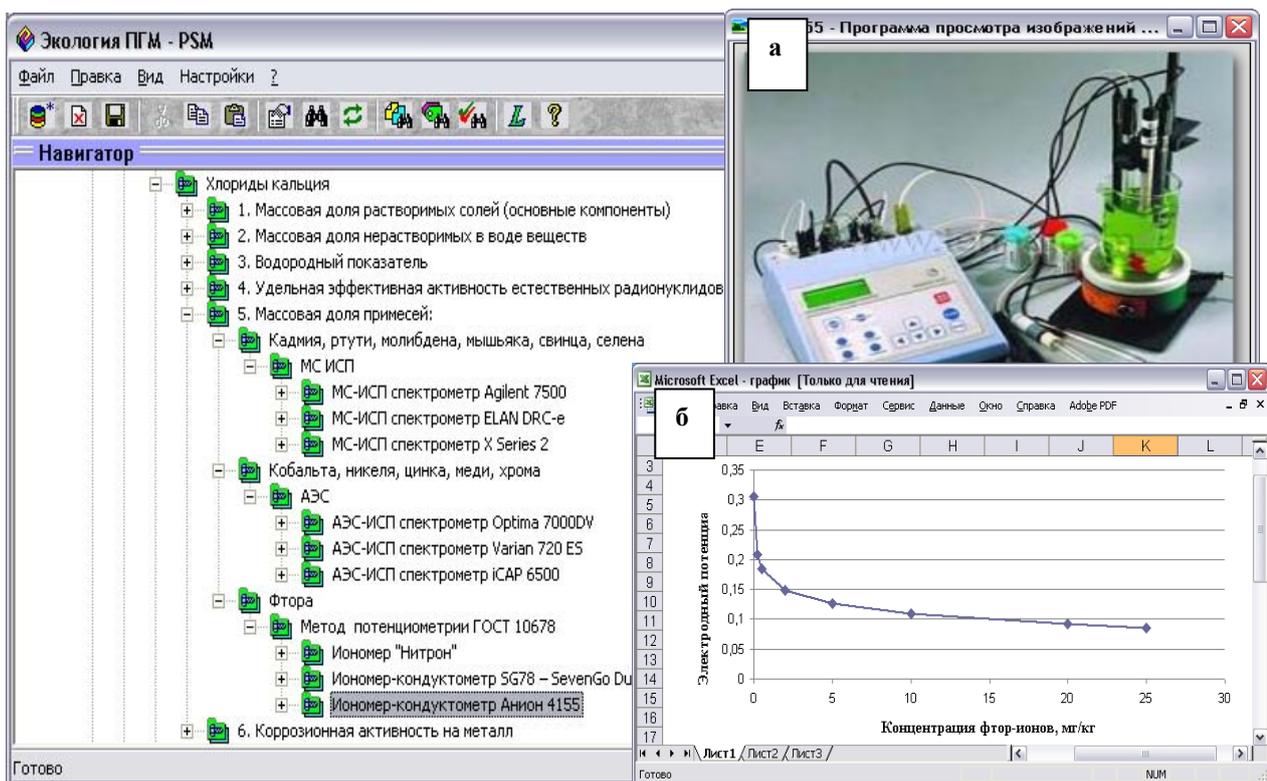


Рис. 2 – CALS-проект «Экологическое воздействие ПГР». Хлориды кальция – Примеси фтора (а – иономер-кондуктометр Анион 4155; б – график зависимости электродного потенциала)

Примеси Cd, Hg, Mo, As, Pb и Se определяют методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (метод основан на использовании для ионизации элементов индукционной плазмы факельной конфигурации; для регистрации ионов определяемых элементов используют масс-спектрометр квадрупольного типа); примеси Co, Ni, Cu, Cr и Zn – методом атомно-эмиссионной спектрометрии (метод основан на использовании в качестве источника возбуждения спектров индукционной плазмы факельной конфигурации; для регистрации спектра используются многоканальные фотоэлектрические системы), а примесь фтора – методом потенциометрии. Как и в ранее рассмотренных подкатегориях для каждого метода в системе представлены несколько приборов различных фирм-разработчиков и виды выходной документации (рис. 2-а).

### Разработка экологических ПГР на основе формиата натрия

Разработанные КМК-системы «ПГР» [4] и «Экологическое воздействие ПГР» взаимосвязаны и дополняют друг друга. Данный тезис отчетливо иллюстрируется нашей работой по формиату натрия – одному из основных действующих веществ ПГР, применяемых в г. Москве. Одной из главных причин использования формиата натрия является его положительное экологическое влияние.

Для определения фактического наличия формиата натрия в рассматриваемых ПГР был проведен комплексный анализ ассортимента ПГР по основным действующим веществам (по заданию Департамента природопользования и охраны окружающей среды г. Москвы). Полученные с помощью

КМК-системы результаты анализа показали, что в состав использовавшихся в сезоне 2011-2012 г в Москве ПГР входили в порядке убывания содержания хлорид натрия, хлорид кальция, хлорид калия и формиат натрия. Массовое соотношение ионов натрия к ионам хлора, в случае если натрий входит в состав только соли хлорида натрия (NaCl), не должно превышать значение 0,65. Соответственно, в случае, когда массовое соотношение натрия и хлора выше 0,65 можно утверждать, что в состав противогололедных реагентов вводились другие соли, содержащие натрий (в том числе и формиат). Если же массовое соотношение натрия и хлора ниже 0,65, это свидетельствует о применении в составе противогололедных реагентов других хлоридов (кальция и калия). Кроме того, соотношение среднего содержания ионов натрия к среднему содержанию ионов хлора, согласно данным, приведенным в КМК-системе, составляет  $1118,5/2363 = 0,47$ , что меньше значения 0,65. Этот результат свидетельствует о том, что в состав используемых в г. Москве ПГР входят, в основном, традиционно применяемые хлориды (кальция и калия), а формиат натрия использовался как компонент ПГР еще в очень незначительном количестве. Это подтверждается лабораторными испытаниями образцов ПГР. Нами было показано, что в состав твердых ПГР входит формиат натрия. Его среднее количество, определяемое при входном контроле ПГР (данные ФГУП ИРЕА), составляет 3-5%. При таком содержании значительно повлияет на результаты определения содержания ионов натрия и хлора в пробах формиат натрия не может.

## Заключение

На основе информационных CALS-технологий разработана система экологического мониторинга влияния противогололедных реагентов на следующие компоненты окружающей среды: снежный покров, водные объекты и грунтовые воды; почвенный покров; зеленые насаждения; атмосферный воздух. Для каждой экологической составляющей в архитектуру системы введены 6 важнейших индикаторов качества (массовая доля растворимых солей, массовая доля нерастворимых в воде веществ, водородный показатель, удельная эффективная активность естественных радионуклидов, массовая доля примесей и коррозионная активность на металл), характеризующих степень воздействия конкретного ПГР на выбранный объект окружающей среды. По всем индикаторам качества в систему введены соответствующие методы анализа и аналитическое оборудование. Полученные по экологиче-

скому мониторингу результаты вошли в 2 договора Департамента природопользования и охраны окружающей среды г. Москвы № 125-11 от 30.05.2011 и № 151-12 от 25.07.2012 «Выполнение работ по экспертно-методическому сопровождению работ по ведению мониторинга воздействия противогололедных реагентов на состояние природных сред».

## Литература

1. Э.К. Буренков, Л.Н. Гинзбург, Т.Д. Буренков, Прикладная геохимия, 2, 339-353 (2001)
2. С.П. Аржанухина, М.Л. Ермаков, Дорожная держава, 10, 80-84 (2008)
3. А.Б. Лысиков, Лесоведение, 4, 50-55 (2010)
4. А.М. Бессарабов, А.Н. Глушко, Т.И. Степанова, Е.Л. Гордеева, Известия МГТУ «МАМИ», 4, 2 (14), 121-125 (2012)
5. А.М. Бессарабов, А.Н. Глушко, Т.И. Степанова, А.В. Лобанова, Г.Е. Заиков, О.В. Стоянов Вестник Казанского технологического университета, 15,10, 293-299 (2012)

---

© **А. М. Бессарабов** – д-р тех. наук, проф., зам. дир. по науке, Научный центр «Малотоннажная химия» (НЦ МТХ), [bessarabov@nc-mtc.ru](mailto:bessarabov@nc-mtc.ru); **А.Н. Глушко** – первый заместитель директора ФГУП «ИРЕА»; **Т. И. Степанова** – аспирант, Научный центр «Малотоннажная химия» (НЦ МТХ); **О. В. Стоянов** - д-р тех. наук, проф., зав. каф. технологии пластических масс КНИТУ, [ov\\_stoyanov@mail.ru](mailto:ov_stoyanov@mail.ru).