

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФИТОТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛАССА ОПАСНОСТИ ОТХОДОВ

**Л.В. Попова, П.С. Репин, В.И. Корчагин, Р.Н. Плотникова**

**Воронежский государственный университет инженерных технологий**

Рассмотрено применение метода фитотестирования для определения класса опасности отходов (отработанный активный ил с иловых карт, опилки натуральной чистой древесины из акации, пивная солодовая дробина, свежий куриный помет, подсолнечная лузга), подвергшихся хранению в течение нескольких месяцев. Определены значения минимально действующего (порогового) разведения, оказывающего эффект торможения роста корней на 20 %, и значения средне-эффективного разведения, тормозящего рост на 50 % по сравнению с дистиллированной водой. Для подсолнечной лузги и пивной дробины установлено противоречие между утвержденным классом опасности по ФККО и определенным классом опасности по методике МР 2.1.7.2297-07, что свидетельствует об изменении химического состава отходов, подвергшихся хранению в течение длительного периода времени.

*Ключевые слова: отработанный активный ил с иловых карт, опилки натуральной чистой древесины из акации, пивная солодовая дробина, свежий куриный помет, подсолнечная лузга, фитотоксичность, класс опасности, тест-объект, тест-функция*

## Using the Method of Phyto-testing to Determine the Hazard Class of Waste

**L.V. Popova, P.S. Repin, V.I. Korchagin, R.N. Plotnikova**

**Voronezh State University of Engineering Technologies, 394036 Voronezh, Russia**

The application of the method of phyto-testing to determine the hazard class of the waste (waste activated sludge from sludge beds, sawdust from natural acacia wood, beer malt spent, fresh chicken dung, sunflower husk), subjected to storage for several months. The values of the minimum effective (threshold) dilution, which has the effect of inhibiting root growth by 20 %, and the values of medium-effective dilution, inhibiting growth by 50 % compared to distilled water were determined. For sunflower husk and beer malt spent, a contradiction was established between the approved hazard class according to the FCCW and a certain hazard class according to the method of МР 2.1.7.2297-07, which indicates a change in the chemical composition of the waste that has been stored for a long period of time.

*Key words: waste activated sludge from sludge cards, sawdust from natural pure wood from acacia, beer malt pellet, fresh chicken dung, sunflower husk, phytotoxicity, hazard class, test object, test function*

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-09-49-53

Постоянный научно-технический прогресс приводит к появлению новых отходов, загрязняющих окружающую среду, а предсказать их токсичность — сложная задача. Действующее законодательство РФ возлагает ответственность на природопользователей за реализацию норм безопасного обращения с отходами (использование в своем технологическом цикле или передачу другим организациям для обезвреживания и

утилизации). В большинстве случаев образующиеся отходы подлежат накоплению на промплощадках организации в течение одиннадцати месяцев для формирования экономически целесообразной для переработки или транспортировки партии [1]. При этом отходы подвергаются воздействию химических и физических факторов окружающей среды, что приводит к качественному и количественному изменению в составе.

В последнее время широко применяются методы фитотестирования на семенах высших растений, которые позволяют оценить суммарное токсическое действие всех компонентов отходов. При этом до сих пор в нашей стране отсутствуют стандартизированные методики, что обуславливает различные подходы и параметры в оценке чувствительности растений к внешнему химическому воздействию (длина наземной



**Рис. 1. Объекты исследования:**  
 а – отходы (осадки) после механической и биологической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод; б – опилки акации; в – дробина солодовая (пивная); г – помет куриный свежий; д – лузга подсолнечная

**Fig. 1. Objects of study:**  
 a – waste (sludge) after mechanical and biological treatment of domestic and mixed wastewater; b – sawdust of acacia; c – malt (beer) grains; g – fresh chicken litter; d – sunflower husk

и подземной частей растений, всхожесть, энергия прорастания, масса проросших растений и т.д.) [2].

Для определения класса опасности металлосодержащих, органических и смешанных отходов применяют методические рекомендации, изложенные в МР 2.1.7.2297-07 "Обоснование класса опасности отходов..." [3]. Методика основана на способности семян адекватно реагировать на химическое воздействие путем изменения показателей роста и развития корней. Токсическое влияние считается установленным при наличии процесса ингибирования роста корней семян на

20 % и более от длины контрольного образца.

Цель работы — оценить класс опасности некоторых отходов производства и потребления методом фитотестирования (с учетом хранения при комнатной температуре в течение 6–11 месяцев), которые в дальнейшем могут быть использованы для переработки методом компостирования, и сравнить полученные результаты с данными Федерального классификационного каталога отходов (ФККО).

Объекты исследования: отработанный активный ил с иловых карт городских очистных сооружений, опилки акации, пивная солодовая дро-

бина местного пивоваренного производства, свежий куриный помет частного хозяйства и подсолнечная лузга крупного производителя подсолнечного масла (рис. 1). Все отходы до проведения анализа хранились в течение 6–11 месяцев при температуре 15–25 °С (имитация условий накопления на предприятии).

Отработанный активный ил, в соответствии с ФККО относящийся к 4 классу опасности (7 22 399 11 39 4), является многотоннажным отходом, в состав которого входит большое количество ценных и питательных элементов. Это обуславливает его широкое применение в качестве органоминерального удобрения [4]. Однако данный способ использования ограничивается необходимостью контроля содержания тяжелых металлов и токсичных соединений, а также проведения предварительной обработки, гарантирующей гибель патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов.

Опилки акации относятся к 5 классу опасности (3 05 230 01 43 5), содержат клетчатку (целлюлозу), пентозу, лигнин, липиды и растительные жиры. Опилки широко используются для мульчирования почвы, а также при компостировании для получения рыхлой, воздухо- и влагопроницаемой структуры компостной смеси [5].

Пивная дробина относится к 5 классу опасности (3 01 240 05 29 5), содержит большое количество жира и белковых веществ, клетчатки, минеральных веществ, витамина Е и витаминов группы В. Ее применяют в качестве питательного компонента, положительно влияющего на биотермическую активность микрофлоры компоста. В сыром виде использование дробины в качестве удобрения нежелательно.

Куриный помет имеет самый высокий класс опасно-

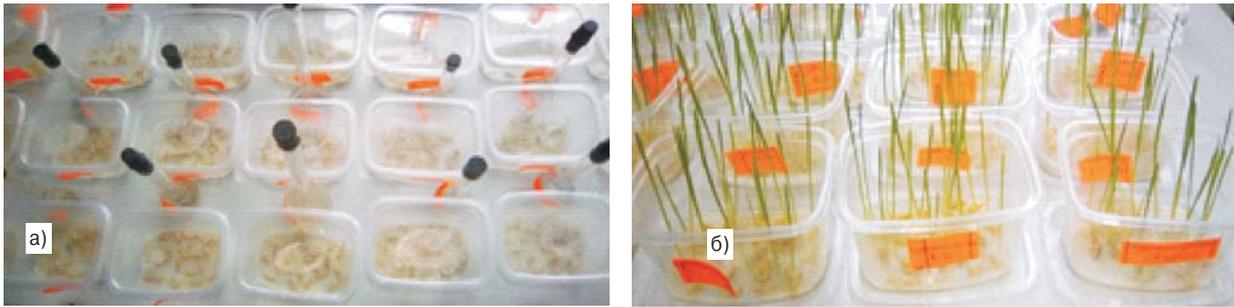


Рис. 2. Фитотестирование отходов через сутки (а) и 7 суток (б) после начала эксперимента  
Fig. 2. Phytotesting of waste in a day (a) and 7 days (b) after the start of the experiment

сти — 3-й (1 12 711 01 33 3). Он характеризуется высоким содержанием таких питательных элементов, как азот и фосфор, однако применение в свежем концентрированном виде представляет опасность для растений. Куриный помет — традиционный компонент удобрений и компостных смесей.

Лузга подсолнечная относится к 5 классу опасности (3 01 141 21 49 5) и содержит значительное количество пентозанов, клетчатки, лигнина и целлюлозы. Используется, так же как и опилки, для мульчирования почвы и компостирования.

При определении класса опасности согласно методическим указаниям МР 2.1.7.2297-07 в качестве тест-объекта использовался овёс (лат. *Avena sativa*). Фитотоксичность отхода оценивается по биологическому действию на семена овса его водного экстракта или его разведений. Модельной или контрольной средой является дистиллированная вода. Для анализа готовят нативный раствор путем растворения 10 г отхода дистиллированной водой в мерной колбе объемом 100 мл, после интенсивного встряхивания и размешивании содержимого раствор подвергается отстаиванию в течение суток для более полной экстракции растворимых соединений, затем интенсивному продолжительному встряхиванию и фильтрации через бумажный фильтр. Полученный исходный или нативный раствор

имеет кратность разведения  $R$ , равную 1, последующие растворы получают его разбавлением.

Проведение анализа заключается в следующем. В контейнеры с вложенной в них фильтровальной бумагой помещается по 25 здоровых неповрежденных семян овса, всхожесть которых не менее 95 %, затем вносится равный для всех опытов объем экстракта или его разведений. Одновременно проводится не менее 3-х параллельных опытов. Через 7 сут измеряется длина корней проросших семян овса (объектом измерения является са-

мый длинный корень). За показатель тест-функции (длины) принимается среднее арифметическое из всех повторностей эксперимента (рис. 2).

Величина фитоэффекта, или эффекта торможения определяется по формуле:

$$E_t = (L_k - L_{оп}) / L_k \cdot 100,$$

где  $E_t$  — эффект торможения, %;  $L_k$  — средняя длина корней в контроле, мм;  $L_{оп}$  — средняя длина корней в опыте, мм.

Методические рекомендации устанавливают зависимость величины фитоэффекта от разведения водного экстракта в виде уравнения прямой общего вида

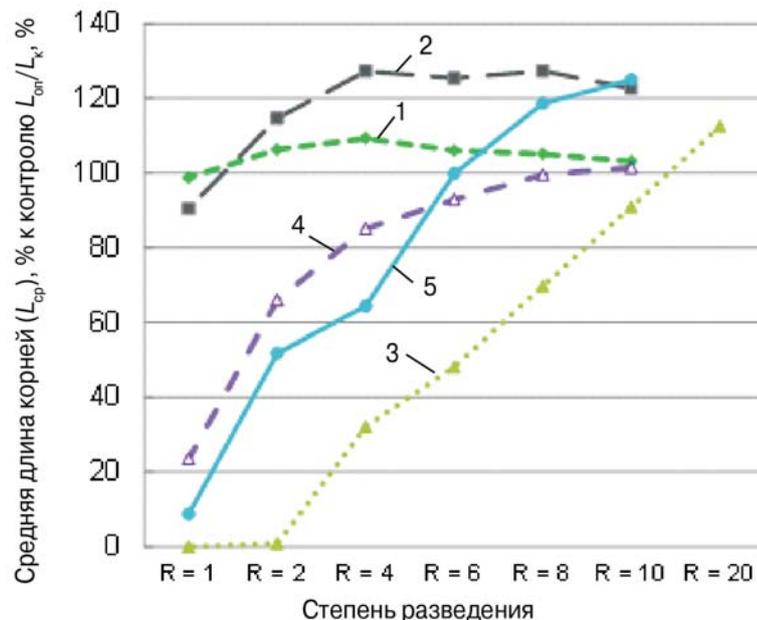
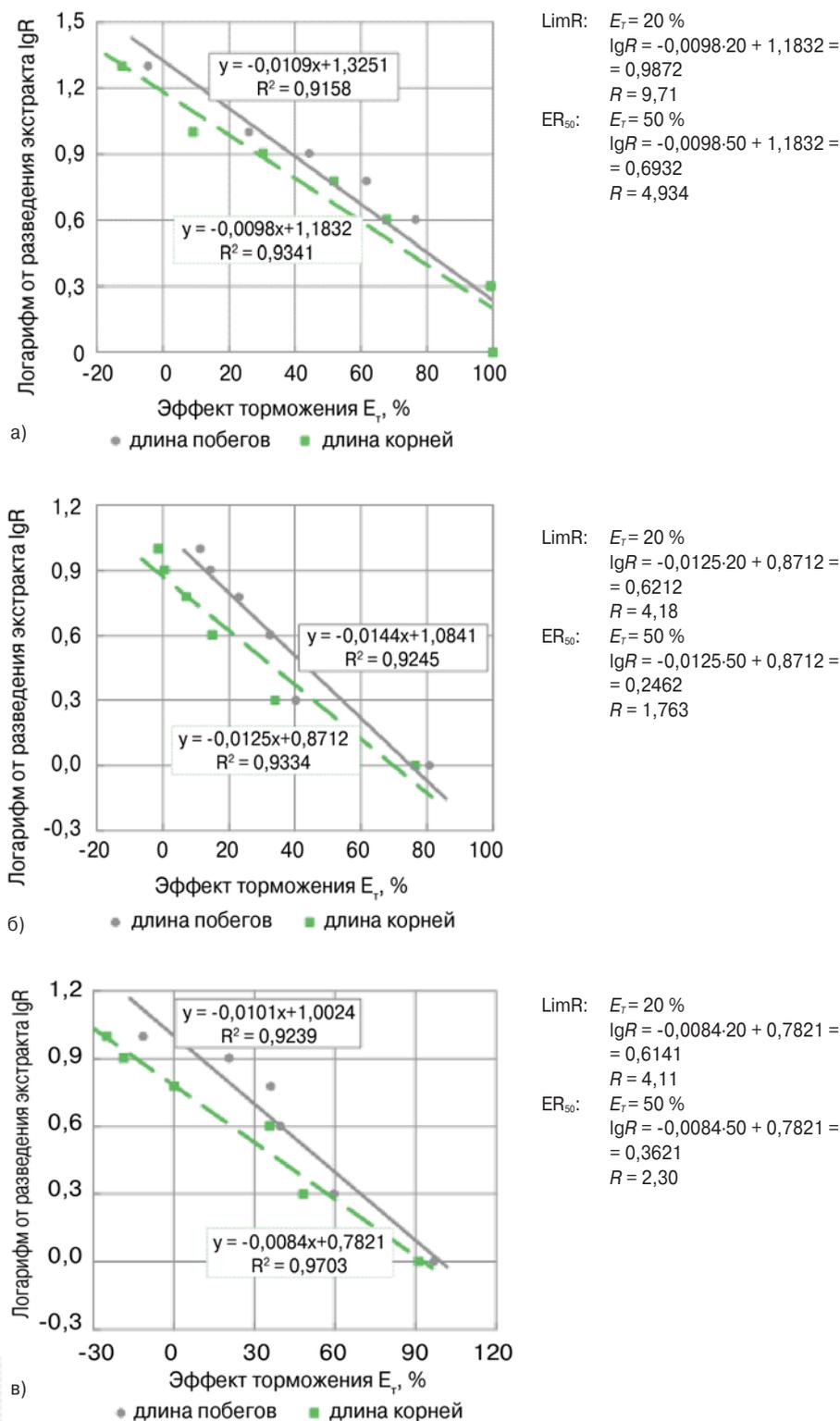


Рис. 3. Зависимость величины фитоэффекта от разведения экстракта отхода:

1 — отработанный активный ил; 2 — древесные опилки; 3 — куриный помет; 4 — пивная дробина; 5 — подсолнечная лузга

Fig. 3. The dependence of the magnitude of the phyto effect on the dilution of the extract of waste:

1 — spent activated sludge; 2 — sawdust; 3 — chicken droppings; 4 — beer pellet; 5 — sunflower husk



**Рис. 4. Влияние экстрактов свежего куриного помета (а), пивной дробины (б), лузги подсолнечника (в) на длину корней и побега проростков опытных семян**

**Fig. 4. The effect of extracts of fresh chicken droppings (a), beer grains (b), husks of sunflower (c) on the length of the roots and shoots of seedlings of experimental seeds**

$lgR = -mE_T + b$ ,  
 где  $E_T$  — величина фитoeffекта, установленная в эксперименте;  
 $R$  — степень разведения экстракта отхода;  $m$  — коэффициент,

соответствующий каждому значению фитoeffекта;  $b$  — коэффициент регрессии.  
 По данному уравнению находят значения минималь-

но действующего (порогового) разведения  $LimR$  (разведение экстракта, вызывающее фитoeffект 20 %) и среднеэффективного разведения  $ER_{50}$  (разведение экстракта, вызывающее фитoeffект 50 %), по величине которого устанавливают класс опасности отхода.

Аналогичным образом проведены измерения и обработка дополнительного тест-параметра — длины побега проростков семян.

Установлено, что при фитотестировании отработанного активного ила и опилок акации отсутствует эффект торможения (ингибирование роста корней на 20 % и более), аналогичное нейтральное влияние установлено и на дополнительном тест-параметре — длине побега (рис. 3).

Согласно применяемой методике, если нативный экстракт не оказывает фитотоксического действия на растения, то данные отходы имеют 4 класс опасности и ниже. Полученные данные не противоречат сведениям ФККО. Однако следует отметить существенный "минус" применяемого метода — отсутствие критерия разделения отходов 4 и 5 классов опасности. Возможно, этот недостаток можно устранить, применяя для анализа более концентрированные, чем нативный раствор, экстракты.

Экстракты куриного помета, пивной дробины, подсолнечной лузги оказывают эффект торможения на рост и развитие семян овса (см. рис. 3). Результаты динамики фитoeffекта позволили установить численные зависимости эффекта торможения от кратности разведения для основного и дополнительного тест-параметра (рис. 4). Установленные зависимости по влиянию экстрактов отходов на длину корней и побегов позволяют сделать вывод о том, что побеги более чувствительны к действию экстрак-

тов отходов. По линейной зависимости  $\lg R = f(E_T)$  для корней найдем значения  $\text{Lim}R$  и  $ER_{50}$ .

Рассчитаны значения минимально действующего (порогового) разведения: для куриного помета — 9,71; пивной дробины — 4,18; подсолнечной лузги — 4,11. При этих и больших кратностях разведения экстракты соответствующих отходов безопасны для роста и развития семян овса.

Установлены значения средне-эффективного разведения  $ER_{50}$ : для куриного помета — 4,934; пивной дробины — 1,763; подсолнечной лузги — 2,30. Токсичность изучаемых отходов снижается в следующем порядке: куриный помет > подсолнечная лузга > пивная дробина. По значениям  $ER_{50}$  все эти отходы должны быть отнесены к

3 классу опасности, что противоречит данным ФККО [6] относительно подсолнечной лузги и пивной дробины. Объяснить данное несоответствие можно следующим образом. Во-первых, экстракты были приготовлены из отходов, хранившихся при комнатной температуре в течение нескольких месяцев. Пивная дробина могла подвергнуться процессам гниения с образованием микотоксинов, а лузга — окислению, что могло привести к увеличению токсичности отходов. Во-вторых, возможно, овес обладает повышенной чувствительностью к данным экстрактам, и необходимо проводить фитотестирование на нескольких тест-растениях (редька масленичная, редис, кресс-салат, пшеница и т.д.) для усреднения полученных результатов. В-треть-

их, возможно, необходима корректировка значений интервалов  $ER_{50}$  для отнесения к конкретному классу опасности.

Таким образом, результаты исследований подтверждают возможность фитотестирования как метода определения класса опасности отходов. В то же время, показано противоречие между установленным классом опасности по ФККО и определенным классом опасности отхода по методике МР 2.1.7.2297-07, что свидетельствует об изменении химического состава отходов, подвергшихся хранению в течение длительного периода времени. Также установлена необходимость корректировки и стандартизации применяемой методики с целью исключения вероятности завышения класса токсичности отходов.

## Литература

1. **Федеральный закон** от 31.12.2017 № 503-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "Об отходах производства и потребления" и отдельные законодательные акты Российской Федерации". [Электронный ресурс]. URL: [http://www.profiz.ru/ecol2\\_2018/503-FZ](http://www.profiz.ru/ecol2_2018/503-FZ) (дата обращения 10.05.2019).
2. **Лисовицкая О.В., Терехова В.А.** Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения. Доклады по экологическому почвоведению. 2010. № 1. Вып. 13. С. 1–18.
3. **Методические рекомендации** МР -2.1.7.2297-07. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности. М., Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. 15 с.
4. **Попова В.А., Енютина М.В., Попова Л.В., Филимонова О.Н., Корчагин В.И., Репин П.С.** Очистка газовых выбросов от оксидов азота с использованием торфо-щелочного сорбента. Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 3. С. 4–9.
5. **Корчагин В.И., Енютина М.В., Тарасевич Т.В., Костылева Л.Н.** Компостные смеси на основе отходов производства. Экология и промышленность России. 2014. Январь. С. 21–23.
6. **Приказ** Росприроднадзора от 02.11.2018 № 451 "О внесении изменений в Федеральный классификационный каталог отходов, утвержденный приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242".

## References

1. **Federal'nyi zakon** ot 31.12.2017 № 503-FZ "O vnesenii izmenenii v Federal'nyi zakon "Ob otkhodakh proizvodstva i potrebleniya" i ot del'nye zakonodatel'nye akty Rossiiskoi Federatsii". [Elektronnyi resurs]. URL: [http://www.profiz.ru/ecol2\\_2018/503-FZ](http://www.profiz.ru/ecol2_2018/503-FZ) (data obrashcheniya 10.05.2019).
2. **Lisovitskaya O.V., Terekhova V.A.** Fitotestirovanie: osnovnye podkhody, problemy laboratornogo metoda i sovremennye resheniya. Doklady po ekologicheskomu pochvovedeniyu. 2010. № 1. Vyp. 13. S. 1–18.
3. **Metodicheskie rekomendatsii** MR -2.1.7.2297-07. Obosnovanie klassa opasnosti otkhodov proizvodstva i potrebleniya po fitotoksichnosti. M., Federal'nyi tsentr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora, 2008. 15 s.
4. **Popova V.A., Enyutina M.V., Popova L.V., Filimonova O.N., Korchagin V.I., Repin P.S.** Ochistka gazovykh vybrosov ot oksidov azota s ispol'zovaniem torfo-shchelochnogo sorbenta. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2018. T. 22. № 3. S. 4–9.
5. **Korchagin V.I., Enyutina M.V., Tarasevich T.V., Kostyleva L.N.** Kompostnye smesi na osnove otkhodov proizvodstv. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2014. Yanvar'. S. 21–23.
6. **Prikaz** Rosprirodnadzora ot 02.11.2018 № 451 "O vnesenii izmenenii v Federal'nyi klassifikatsionnyi katalog otkhodov, utverzhdenyi prikazom Rosprirodnadzora ot 22.05.2017 № 242".

Л.В. Попова – канд. техн. наук, доцент, Воронежский государственный университет инженерных технологий, 394036 Россия, г. Воронеж, пр-т Революции 19, e-mail: luba030883@yandex.ru • П.С. Репин – канд. техн. наук, декан довузовской подготовки, e-mail: rps85@bk.ru • В.И. Корчагин – д-р техн. наук, зав. кафедрой, e-mail: kvi-vgta@rambler.ru • Р.Н. Плотнокова – канд. хим. наук, начальник Учебно-методического управления, e-mail: yy@vsuet.ru

L.V. Popova – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Voronezh State University of Engineering Technologies, 394036 Russia, Voronezh, Revolution Avenue 19, e-mail: luba030883@yandex.ru • P.S. Repin – Cand. Sci. (Eng.), Dean of Pre-university Training, e-mail: rps85@bk.ru • V.I. Korchagin – Dr. Tech. Sciences, Head of Department, e-mail: kvi-vgta@rambler.ru • R.N. Plotnikova – Cand. Sci. (Chem.), Head of Educational and Methodical Management, e-mail: yy@vsuet.ru