

## УСТАНОВЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ МАССЫ ПРОБЫ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ЕЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

Д.В. Юновидов, Е.Е. Сидорова, К.В. Аксенчик, М.Н. Надежин, И.В. Надежина

Дмитрий Валерьевич Юновидов, Максим Николаевич Надежин

Отдел качества и стандартизации, АО «Научно-исследовательский институт по удобрениям и инсектофунгицидам имени профессора Я.В. Самойлова», Северное шоссе, 75, Череповец, Российская Федерация, 162622  
E-mail: Dm.Yunovidov@gmail.com, MN.Nadezhin@gmail.com

Константин Васильевич Аксенчик \*, Елизавета Евгеньевна Сидорова, Ирина Валерьевна Надежина

Кафедра химических технологий, Череповецкий государственный университет, пр. Луначарского, 5, Череповец, Российская Федерация, 162600  
E-mail: akskos@mail.ru \*, ees\_hwork@gmail.com, irirumyantseva@gmail.com

*В статье рассмотрена связь между массой лабораторной пробы и однородностью её гранулометрического состава. Целью работы является оценка границ снижения массы, при которой проба остается представительной с точки зрения гранулометрического состава. Проведена связь между химическими и физическими свойствами и гранулометрическим составом удобрений. Обосновано использование данного параметра как одного из основных физических свойств промышленно производимых минеральных удобрений. При этом использование меньшей навески позволит сократить время на проведение анализа в производственных лабораториях. Предложен и реализован эксперимент по оценке представительности проб удобрений различной массы. Исследованы образцы нескольких марок промышленно производимых гранулированных минеральных удобрений. Проведён ситовой анализ образцов согласно принятой нормативной документации с определением фракций: < 1 мм, 1 - 2 мм, 2 - 3,15 мм, 3,15 - 4 мм, 4 - 5 мм, 5 - 6,3 мм и > 6,3 мм. Приведено сравнение полученных результатов с утвержденной в нормативной документации отраслевой методикой определения гранулометрического состава на плетеных ситах. По полученным данным рассчитаны основные статистические характеристики анализа: математическое ожидание (среднее значение), стандартное отклонение, доверительный интервал. Исследована однородность средних значений и дисперсий полученных выборок для массы удобрений в 50 и 150 г с использованием тестов Стьюдента и Фишера для 0,05 % уровня значимости. Для подтверждения результатов тестов построено графическое распределение фракции < 2 мм для исследуемых масс навесок. Сделаны выводы о допустимой массе представительной пробы гранулированных минеральных удобрений для анализа гранулометрического состава и связанных с ним физико-химических свойств удобрений.*

**Ключевые слова:** минеральные удобрения, пробоотбор, гранулометрический состав, ресурсосбережение, представительная проба, пробоподготовка

## DETERMINATION OF ACCEPTABLE SAMPLE WEIGHT OF MINERAL FERTILIZERS TO KEEP THOSE SAMPLES TO BE REPRESENTATIVE ONES IN TERMS OF PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

D.V. Yunovidov, E.E. Sidorova, K.V. Aksenichik, M.N. Nadezhin, I.V. Nadezhina

Dmitriy V. Yunovidov, Maksim N. Nadezhin

Department of Quality and Standardization, JS «The Research Institute for Fertilizers and Insectofungicides named after Professor Y.V.Samoilov». Severnoye shosse, 75, Cherepovets, 162622, Russia  
E-mail: Dm.Yunovidov@gmail.com, MN.Nadezhin@gmail.com

Konstantin V. Aksenichik\*, Elizaveta E. Sidorova, Irina V. Nadezhina

Department of Chemical Technologies, Cherepovets State University, Lunacharskogo ave., 5, Cherepovets, 162600, Russia  
E-mail: akskos@mail.ru\*, ees\_hwork@gmail.com, irirumyantseva@gmail.com

*The article discusses the relationship between the mass of the laboratory sample and the homogeneity of its particle size distribution. The aim of the work is to estimate the limits of the sample mass reduction, at which it remains representative in particle size distribution. A relation was pointed out between the chemical and physical properties and the particle size distribution of fertilizers. The use of this parameter as one of the basic physical properties of industrially produced mineral fertilizers was justified. At the same time, using a smaller sample will reduce the time for analysis in industrial laboratories. An experiment was proposed and implemented to assess the representativeness of sample of fertilizers with different masses. Samples of several brands of industrially produced granulated mineral fertilizers were studied. A sieve analysis of samples was carried out in accordance with accepted standards (for < 1 mm, 1-2 mm, 2-3.15 mm, 3.15-4 mm, 4-5 mm, 5-6.3 mm, > 6.3 mm fractions). A comparison between the obtained results and industry-specific technique for determining the particle size distribution on the woven sieve was given. According to the obtained data, the main statistical characteristics of the analysis were calculated: mathematical expectation (average value), standard deviation and confidence interval. The homogeneity of the average values and variances of the obtained samples for the 50 and 150 g of fertilizers was investigated using Student's and Fisher's tests for a 0.05% level of significance. To confirm the test results, a graphic distribution of sample with different mass and the fraction < 2 mm was built. Conclusion about the allowable mass of a representative sample of granular mineral fertilizers for analyzing the particle size distribution and the associated with physical and chemical properties of fertilizers was made.*

**Key words:** mineral fertilizers; sampling; particle size distribution; resource saving; representative sample; sample preparation

**Для цитирования:**

Юновидов Д.В., Сидорова Е.Е., Аксенчик К.В., Надежин М.Н., Надежина И.В. Установление допустимой массы пробы минеральных удобрений для сохранения ее представительности с точки зрения гранулометрического состава. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2019. Т. 62. Вып. 6. С. 106–111

**For citation:**

Yunovidov D.V., Sidorova E.E., Aksenich K.V., Nadezhin M.N., Nadezhina I.V. Determination of acceptable sample weight of mineral fertilizers to keep those samples to be representative ones in terms of particle size distribution. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 6. P. 106–111

## ВВЕДЕНИЕ

Любое аналитическое исследование имеет своей целью получение достоверной информации относительно качественного и количественного состава анализируемого материала. В связи с этим, огромное значение имеют этапы пробоотбора и пробоподготовки. Особенно важны данные стадии для промышленности минеральных удобрений. Так, авторы работы [1] отмечают нестабильность минеральных удобрений в процессе пробоподготовки и призывают к сокращению времени и трудоемкости данной процедуры. В исследовании [2] отмечается влияние пробоподготовки на результаты спектроскопического анализа образцов почвы с удобрением. В ряде прочих исследований также отмечается значимость и трудоемкость описанных процедур [3, 4]. Отметим, что снижение массы навески является довольно важным фактором, позволяющим сократить временные издержки проведения анализа, что обеспечит экономию ресурсов промышленных лабораторий. Необходимо учитывать, что проба должна быть представительной, то

есть отражать весь массив продукции по физическим и химическим свойствам [5].

Одним из основных параметров качества для минеральных удобрений является распределение гранул по размерам (гранулометрический состав). Многие авторы отмечают его связь с физическими [6-8] и химическими [9-12] свойствами минеральных удобрений.

Согласно актуальному ГОСТ 30182-94, регламентирующему методике пробоотбора минеральных удобрений, размер аналитической пробы должен составлять 100-250 г. Японские [13] и американские [14] рекомендации предлагают работать с пробами ещё большей массы (не менее 250 г). При этом, для определения химического состава минеральных удобрений зачастую требуется не более 10 г пробы [4, 15, 16]. Использование аналитической пробы около 50 г упростит ее пробоподготовку, обеспечит ресурсосбережение лабораторий за счёт снижения трудозатрат и времени на проведение анализа.

Таким образом, целью работы являлось установление оптимальной массы представительной аналитической пробы гранулированных мине-

ральных удобрений для анализа физико-химических свойств с точки зрения гранулометрического состава.

#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В рамках проведенной работы исследован набор промышленно производимых минеральных удобрений различных марок. Общий список исследованных удобрений приведен в табл. 1.

Таблица 1

Исследованные минеральные удобрения  
Table 1. Investigated mineral fertilizers

| № | Производитель                 | Марка                 |
|---|-------------------------------|-----------------------|
| 1 | Волховский филиал АО «Апатит» | НПК (S) 4-12-32 (5)   |
| 2 | Волховский филиал АО «Апатит» | НПК (S) 10-15-15 (10) |
| 3 | Еврохим                       | NP (S) 20-20 (14)     |
| 4 | АО «Апатит»                   | НПК 15-15-15          |
| 5 | АО «Апатит»                   | NP 18-46              |

Из общей массы лабораторной пробы (около 1 кг) методом автоматического деления (ротационный прободелитель Retsch RT 100) было отобрано по 5 проб массой около 50 и 150 г. Гранулометрический состав исследовался с использованием плетеных сит с размерами ячеек металлической сетки 1; 2; 3,15; 4; 5 и 6,3 мм.

Набор сит с поддоном устанавливался на лабораторный вибрационный грохот (Retsch AS 200 basic). Проба удобрения, предварительно взвешенная с точностью до второго десятичного знака, помещалась на сито с максимальным размером сетки. Рассев проводился в течение 6-8 мин с частотой колебаний в 50 Гц согласно ТУ на исследованные марки удобрений [17-19]. Затем масса гранул взвешивалась с точностью до второго десятичного знака и пересчитывалась в гранулометрический состав (мас. %). Определение проводилось в пяти параллельных измерениях.

Таблица 2

Результаты ситового анализа гранулометрического состава удобрений  
Table 2. Results of sieve analysis of fertilizer particle size distribution

| Фракция,<br>мм      | Среднее значение ( $\bar{X}$ ), стандартное отклонение ( $\sigma$ ) и доверительный интервал ( $\pm t$ ) для исследуемого удобрения, мас. % |          |         |           |          |         |           |          |         |           |          |         |           |          |         |
|---------------------|---|----------|---------|-----------|----------|---------|-----------|----------|---------|-----------|----------|---------|-----------|----------|---------|
|                     | № 1   |          |         | № 2       |          |         | № 3       |          |         | № 4       |          |         | № 5       |          |         |
|                     | $\bar{X}$   | $\sigma$ | $\pm t$ | $\bar{X}$ | $\sigma$ | $\pm t$ | $\bar{X}$ | $\sigma$ | $\pm t$ | $\bar{X}$ | $\sigma$ | $\pm t$ | $\bar{X}$ | $\sigma$ | $\pm t$ |
| масса навески 50 г  |   |          |         |           |          |         |           |          |         |           |          |         |           |          |         |
| < 1                 | 0,09  | 0,01     | 0,01    | 0,11      | 0,04     | 0,04    | 0,04      | 0,02     | 0,02    | 0,71      | 0,03     | 0,02    | 0,12      | 0,03     | 0,03    |
| 1-2                 | 2,85  | 0,21     | 0,18    | 2,18      | 0,11     | 0,10    | 0,11      | 0,03     | 0,03    | 13,11     | 0,74     | 0,65    | 4,43      | 0,21     | 0,19    |
| 2-3,15              | 41,17   | 1,01     | 0,89    | 44,67     | 0,63     | 0,55    | 22,94     | 0,8      | 0,7     | 59,59     | 0,76     | 0,67    | 39,66     | 0,72     | 0,63    |
| 3,15-4              | 42,23   | 1,56     | 1,37    | 36,46     | 0,55     | 0,49    | 53,54     | 1,52     | 1,33    | 23,83     | 0,59     | 0,52    | 50,46     | 0,26     | 0,23    |
| 4-5                 | 13,28   | 1,10     | 0,96    | 14,76     | 0,91     | 0,79    | 22,78     | 1,18     | 1,04    | 2,75      | 0,65     | 0,57    | 5,26      | 0,84     | 0,74    |
| 5-6,3               | 0,38  | 0,33     | 0,29    | 1,82      | 0,45     | 0,39    | 0,60      | 0,36     | 0,31    | -*        |          |         | 0,08      | 0,11     | 0,09    |
| > 6,3               | -**   |          |         |           |          |         |           |          |         |           |          |         |           |          |         |
| масса навески 150 г |   |          |         |           |          |         |           |          |         |           |          |         |           |          |         |
| < 1                 | 0,07  | 0*       | 0*      | 0,07      | 0,01     | 0,01    | 0,01      | 0*       | 0*      | 0,65      | 0,02     | 0,02    | 0,10      | 0,01     | 0,01    |
| 1-2                 | 2,78  | 0,09     | 0,08    | 2,09      | 0,13     | 0,11    | 0,09      | 0,02     | 0,02    | 13,50     | 0,31     | 0,27    | 4,47      | 0,14     | 0,13    |
| 2-3,15              | 40,79   | 0,35     | 0,31    | 44,69     | 0,59     | 0,52    | 22,17     | 0,59     | 0,52    | 58,17     | 1,20     | 1,05    | 40,28     | 0,9      | 0,79    |
| 3,15-4              | 42,19   | 0,57     | 0,50    | 36,22     | 0,86     | 0,76    | 54,69     | 0,86     | 0,75    | 24,49     | 1,10     | 0,97    | 49,57     | 0,7      | 0,61    |
| 4-5                 | 13,62   | 0,23     | 0,20    | 14,96     | 0,96     | 0,84    | 21,88     | 0,98     | 0,86    | 3,19      | 0,39     | 0,34    | 5,55      | 0,76     | 0,66    |
| 5-6,3               | 0,56  | 0,21     | 0,19    | 1,95      | 0,38     | 0,33    | 1,01      | 0,33     | 0,29    | -*        |          |         | 0,03      | 0,07     | 0,06    |
| > 6,3               | -**   |          |         |           |          |         | 0,14      | 0,16     | 0,14    | -**       |          |         |           |          |         |

Примечание: \* Значения параметра слишком малы для выбранной точности. \*\* Показатели не рассчитывались из-за нулевых значений массы фракции во всех 5 параллельных измерениях

Note: \* The parameter values are too small for the selected accuracy. \*\* Indicators were not calculated due to zero mass values of the fraction in all 5 parallel measurements

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные статистические показатели гранулометрического состава по пяти измерениям для разных удобрений и масс навески приведены в табл. 2. Стоит отметить, что полученные выборки являются независимыми (навески отбирались из

разных средних проб массой около 1 кг). Необработанные данные эксперимента размещены в открытом доступе [20].

Гранулометрический состав согласно ТУ для навески массой 200 г и средние значения для навесок 50 и 150 г приведены в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение результатов анализа гранулометрического состава

Table 3. Comparison of the results of the particle size distribution analysis

| № пробы | масса навески, г | Доля фракции, % |         |          |          |           |
|---------|------------------|-----------------|---------|----------|----------|-----------|
|         |                  | < 1 мм          | < 2 мм  | 1-4 мм   | 2-5 мм   | 5-6,3 мм  |
| 1       | 200*             | < 0,5           | 3,2±0,6 | 87,6±1,7 | 96,3±0,6 | 100,0±0,6 |
|         | 50               | 0,09            | 2,94    | 86,25    | 96,68    | 99,91     |
|         | 150              | 0,07            | 2,84    | 85,75    | 96,6     | 99,93     |
| 2       | 200*             | < 0,5           | 2,6±0,4 | 85,6±1,7 | 96,2±0,6 | 100,0±0,6 |
|         | 50               | 0,11            | 2,29    | 83,31    | 95,89    | 99,89     |
|         | 150              | 0,07            | 2,17    | 83,01    | 95,88    | 99,93     |
| 3       | 200*             | < 0,5           | < 0,5   | < 80,0   | 99,1±0,6 | 100,0±0,6 |
|         | 50               | 0,04            | 0,15    | 76,59    | 99,25    | 99,96     |
|         | 150              | 0,01            | 0,1     | 76,95    | 98,75    | 99,85     |
| 4       | 200*             | < 0,5           | > 7,0   | > 95,5   | < 90,0   | 99,6±0,6  |
|         | 50               | 0,71            | 13,83   | 96,54    | 86,17    | 99,29     |
|         | 150              | 0,65            | 14,14   | 96,16    | 85,86    | 99,35     |
| 5       | 200*             | < 0,5           | 4,6±0,6 | > 95,0   | 95,4±0,6 | 99,9±0,6  |
|         | 50               | 0,12            | 4,55    | 94,54    | 95,37    | 99,88     |
|         | 150              | 0,1             | 4,57    | 94,32    | 95,4     | 99,9      |

Примечание: \* В соответствии с ТУ  
 Note: \* In accordance with the technical conditions

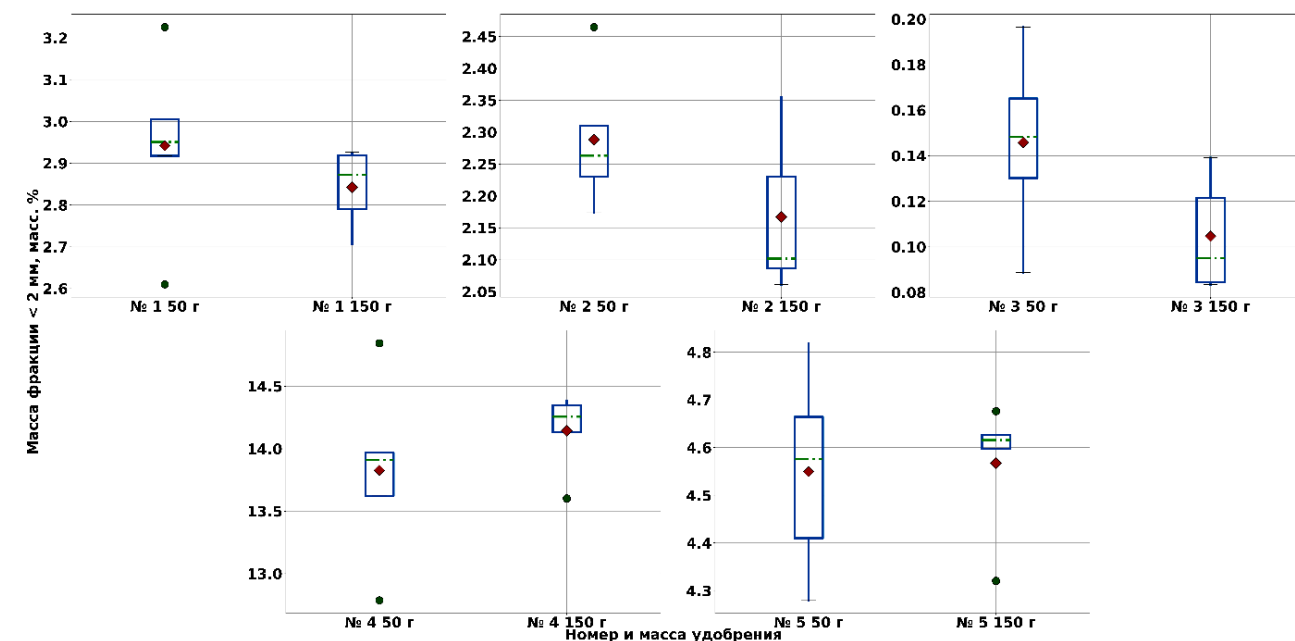


Рис. Графическое сравнение статистических параметров  
 Fig. Graphical comparison of the statistical parameters

И хотя для навески в 50 г разброс значений обычно выше, чем для навески в 150 г, можно обратить внимание, что это не всегда так. Отметим, что для эффективной оценки распределения графикам «boxplot» не хватает данных. Однако все значения с учетом вылетов пересекаются, а средние и

медианы расположены в допустимой близости друг к другу. Наблюдаемые статистические характеристики свидетельствуют в пользу использования навески массой 50 г. Для подтверждения того, что дисперсии и средние значения однородны, рассчитаны критерии Стьюдента и Фишера (табл. 4).

Таблица 4

Результаты статистических тестов  
Table 4. Results of statistical tests

| №  | Фракция, мм |       |        |        |       |       |
|--|-------------|-------|--------|--------|-------|-------|
|  | < 1         | 1-2   | 2-3,15 | 3,15-4 | 4-5   | 5-6,3 |
| t-критерий (Стьюдента), $t_{\text{табл}(f=8, p=0,05)} = 2,015$ |             |       |        |        |       |       |
| 1  | 0,198       | 0,456 | 0,805  | 0,981  | 0,694 | 0,897 |
| 2  | 0,324       | 0,047 | 0,066  | 0,855  | 0,199 | 0,789 |
| 3  | 0,051       | 0,674 | 0,906  | 0,418  | 0,320 | 0,892 |
| 4  | 0,055       | 0,173 | 0,477  | 0,793  | 0,383 | - *   |
| 5  | 0,398       | 0,786 | 0,812  | 0,199  | 0,429 | 0,972 |
| F-критерий (Фишера), $F_{\text{табл}(4,4,p=0,05)} = 6,390$     |             |       |        |        |       |       |
| 1  | 0,064       | 0,237 | 0,268  | 0,169  | 0,039 | 0,139 |
| 2  | 0,369       | 0,437 | 0,234  | 0,207  | 0,866 | 0,788 |
| 3  | 0,074       | 0,883 | 0,284  | 0,683  | 0,881 | 0,372 |
| 4  | 0,416       | 0,007 | 0,476  | 0,476  | 0,289 | - *   |
| 5  | 0,075       | 0,722 | 0,817  | 0,195  | 0,987 | 0,961 |

Примечание: \* Значение параметра не рассчитывалось из-за нулевых значений для каждого типа удобрения (таблицы 2 и 3)

Note: \* The parameter value was not calculated due to zero values for each type of fertilizer (tables 2 and 3)

Рассчитанные показатели не превышают табличных значений. Следовательно, дисперсии и средние значения однородны, а масса навески в 50 г является представительной с точки зрения гранулометрического состава.

## ЛИТЕРАТУРА

- Krüger O., Adam C. Phosphorus in recycling fertilizers - analytical challenges. *Environ. Res.* 2017. V. 155. P. 353–358. DOI: 10.1016/j.envres.2017.02.034.
- Coutinho M.A.N., Alari F.O., Ferreira M.M.C., Amaral L.R. Influence of soil sample preparation on the quantification of NPK content via spectroscopy. *Geoderma.* 2019. V. 338. P. 401–409. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.12.021.
- Starowicz M. Sample Preparation. *Encyclopedia of Analytical Science.* Elsevier Inc. 2012. P. 1–6. DOI: 10.1007/978-3-319-04864-2\_5.
- Ramteke L.P., Sahayam A.C., Ghosh A., Rambabu U., Reddy M.R.P., Popat K.M., Rebarry B., Kubavat D., Marathe K.V., Ghosh P.K. Study of fluoride content in some commercial phosphate fertilizers. *J. Fluor. Chem.* 2018. V. 210. P. 149–155. DOI: 10.1016/j.jfluchem.2018.03.018.
- ГОСТ 30182-94. Удобрения минеральные. Общие требования. Отбор проб. Введ. 1997-07-01. М.: ИПК «Издательство стандартов». 1996.
- Sun Y., Nimbalkar S., Chen C. Particle breakage of granular materials during sample preparation. *J. Rock Mech. Geotech. Eng.* Available online 02 January 2019. DOI: 10.1016/j.jrmge.2018.12.001.
- Walker G.M., Holland C.R., Ahmad M.N., Fox J.N., Kells A.G. Drum granulation of NPK fertilizers. *Powder Technol.* 2000. V. 107. N 3. P. 282–288. DOI: 10.1016/S0032-5910(99)00253-3.
- Rodrigues R.F., Leite S.R., Santos D.A., Barrozo M.A.S. Drum granulation of single super phosphate fertilizer: Effect of process variables and optimization. *Powder Technol.* 2017. V. 321. P. 251–258. DOI: 10.1016/S0032-5910(99)00253-3.

## ВЫВОДЫ

В рамках проведенного исследования установлено, что при анализе гранулометрического состава и связанных с ним физических и химических параметров различных промышленно производимых гранулированных минеральных удобрений допустимо использовать навеску массой около 50 г и более. Рассчитанные статистические показатели для гранулометрического состава позволяют с определенной долей вероятности (более 95% по тестам Стьюдента и Фишера) сделать вывод о представительности данного подхода. О том же свидетельствует сравнение полученных результатов с результатами анализа по ТУ. Отметим, что использовать навески меньшей массы нецелесообразно из-за плохой работы измельчителей и внесения большого количества примесей.

Исследованный в работе диапазон масс от 50 до 200 г позволяет подбирать величину представительной пробы, исходя из условий выполнения конкретного анализа, а также учитывать характеристики используемого оборудования.

Полученные данные могут быть использованы в производственных лабораториях для обеспечения ресурсо- и энергосбережения при проведении повседневных анализов.

## REFERENCES

- Krüger O., Adam C. Phosphorus in recycling fertilizers - analytical challenges. *Environ. Res.* 2017. V. 155. P. 353–358. DOI: 10.1016/j.envres.2017.02.034.
- Coutinho M.A.N., Alari F.O., Ferreira M.M.C., Amaral L.R. Influence of soil sample preparation on the quantification of NPK content via spectroscopy. *Geoderma.* 2019. V. 338. P. 401–409. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.12.021.
- Starowicz M. Sample Preparation. *Encyclopedia of Analytical Science.* Elsevier Inc. 2012. P. 1–6. DOI: 10.1007/978-3-319-04864-2\_5.
- Ramteke L.P., Sahayam A.C., Ghosh A., Rambabu U., Reddy M.R.P., Popat K.M., Rebarry B., Kubavat D., Marathe K.V., Ghosh P.K. Study of fluoride content in some commercial phosphate fertilizers. *J. Fluor. Chem.* 2018. V. 210. P. 149–155. DOI: 10.1016/j.jfluchem.2018.03.018.
- GOST 30182-94. Mineral fertilizers. General requirements. Sampling. Introduced: 1997-07-01. M.: IPK «Izdatelstvo standartov». 1996 (in Russian).
- Sun Y., Nimbalkar S., Chen C. Particle breakage of granular materials during sample preparation. *J. Rock Mech. Geotech. Eng.* Available online 02 January 2019. DOI: 10.1016/j.jrmge.2018.12.001.
- Walker G.M., Holland C.R., Ahmad M.N., Fox J.N., Kells A.G. Drum granulation of NPK fertilizers. *Powder Technol.* 2000. V. 107. N 3. P. 282–288. DOI: 10.1016/S0032-5910(99)00253-3.
- Rodrigues R.F., Leite S.R., Santos D.A., Barrozo M.A.S. Drum granulation of single super phosphate fertilizer: Effect of process variables and optimization. *Powder Technol.* 2017. V. 321. P. 251–258. DOI: 10.1016/S0032-5910(99)00253-3.

9. **Kohonen J., Reinikainen S.P., Höskuldsson A.** Block-based approach to modelling of granulated fertilizers' quality. *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 2009. V. 97. N 1. P. 18–24. DOI: 10.1016/j.chemolab.2008.06.015.
10. **Барбашин А.А.** Тукосмеси: старые рецепты - новые подходы. *Мир серы, N, P и K.* 2006. Вып. 3. С. 12–22.
11. **Юновидов Д.В., Соколов В.В., Бахвалов А.С.** Использование спектра пробы для оценки влияния стадий пробоподготовки NPKS удобрений на результаты рентгенофлуоресцентного анализа. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов.* 2017. Т. 83. Вып. 9. С. 15-21.
12. **Казак В.Г., Норов А.М., Овчинникова К.Н., Размахнина Г.С.** Безотходная технология использования низкосортного сырья для получения РК-удобрений. *Мир серы, N, P и K.* 2008. Вып. 4. С. 3-5.
13. **Kimura M.** Testing Methods for Fertilizers Incorporated Administrative Agency Food and Agricultural Materials Inspection Center. Japan: 2016. 370 p. <http://www.famic.go.jp/ffis/fert/obj/TestingMethodsForFertilizers2016.pdf>.
14. International Fertilizer Development Center (IFDC). Fertilizer Analytical Manual. IFDC. 2003. 80 p. <https://ifdc.org/reference-manuals>.
15. **El Sharkawi H.M., Tojo S., Chosa T., Malhat F.M., Youssef A.M.** Biochar-ammonium phosphate as an uncoated-slow release fertilizer in sandy soil. *Biomass Bioenergy.* 2018. V. 117. P. 154–160. DOI: 10.1016/j.biombioe.2018.07.007.
16. **Duboc O., Santner J., Farad A.G., Zehetner F., Tacconi J., Wenzel W.W.** Predicting phosphorus availability from chemically diverse conventional and recycling fertilizers. *Sci. Total Environ.* 2017. V. 599–600. P. 1160–1170. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.054.
17. ТУ 2186-00209438-2014. Дيامмонийфосфат удобрительный. Технические условия. Введ. 2015-01-01. М.: ОАО «НИУИФ». 2013.
18. ТУ 2186-689-00209438-09 Удобрения азотно-фосфорно-калийное. Технические условия. Введ. 2010-02-15. М.: ОАО «НИУИФ». 2016.
19. ТУ 2186-687-00209438-08. Удобрение азотно-фосфорное серосодержащее. Технические условия. Введ. 2008-11-01. М.: ОАО «НИУИФ». 2016.
20. <https://github.com/DimYun/ScientificData>.
9. **Kohonen J., Reinikainen S.P., Höskuldsson A.** Block-based approach to modelling of granulated fertilizers' quality. *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 2009. V. 97. N 1. P. 18–24. DOI: 10.1016/j.chemolab.2008.06.015.
10. **Barbashin A.A.** Mixtures: old recipes - new approaches. *Mir Sery, N, P i K.* 2006. N 3. P. 12–22 (in Russian).
11. **Yunovidov D.V., Sokolov V.V., Bakhvalov A.S.** The use of the sample spectrum for assessing the impact of different stages of the NPKS Fertilizer Preparation on the results of X-Ray fluorescence analysis. *Zavodskaya Laboratoriya. Diagnostika Materialov.* 2017. V. 83. N 9. P. 15-21 (in Russian).
12. **Kazak V.G., Norov A.M., Ovchinnikova K.N., Razmahina G.S.** Waste-free technology using low-grade raw materials for the production of PK-fertilizers. *Mir Sery, N, P i K.* 2008. N 4. P. 3-5 (in Russian).
13. **Kimura M.** Testing Methods for Fertilizers Incorporated Administrative Agency Food and Agricultural Materials Inspection Center. Japan: 2016. 370 p. <http://www.famic.go.jp/ffis/fert/obj/TestingMethodsForFertilizers2016.pdf>.
14. International Fertilizer Development Center (IFDC). Fertilizer Analytical Manual. IFDC. 2003. 80 p. <https://ifdc.org/reference-manuals>.
15. **El Sharkawi H.M., Tojo S., Chosa T., Malhat F.M., Youssef A.M.** Biochar-ammonium phosphate as an uncoated-slow release fertilizer in sandy soil. *Biomass Bioenergy.* 2018. V. 117. P. 154–160. DOI: 10.1016/j.biombioe.2018.07.007.
16. **Duboc O., Santner J., Farad A.G., Zehetner F., Tacconi J., Wenzel W.W.** Predicting phosphorus availability from chemically diverse conventional and recycling fertilizers. *Sci. Total Environ.* 2017. V. 599–600. P. 1160–1170. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.054.
17. ТУ 2186-00209438-2014. Дيامмонийфосфат удобрительный. Технические условия. Introduced: 2015-01-01. М.: JSC «NIUIF». 2013 (in Russian).
18. ТУ 2186-689-00209438-09 Удобрения азотно-фосфорно-калийное. Технические условия. Introduced: 2010-02-15. М.: JSC «NIUIF». 2016 (in Russian).
19. ТУ 2186-687-00209438-08. Удобрение азотно-фосфорное серосодержащее. Технические условия. Introduced: 2008-11-01. М.: JSC «NIUIF». 2016 (in Russian).
20. <https://github.com/DimYun/ScientificData>.

Поступила в редакцию 19.02.2019  
Принята к опубликованию 09.04.2019

Received 19.02.2019  
Accepted 09.04.2019