

## СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ

Научная статья  
УДК 631.41:631.473  
<https://doi.org/10.20915/2077-1177-2022-18-2-19-34>



# Разработка и исследование стандартных образцов предприятия состава почв, трансформированных техногенным воздействием

Г. А. Ступакова , Е. Э. Игнатьева , Т. И. Щиплецова , Д. К. Митрофанов

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии  
имени Д. Н. Прянишникова», г. Москва, Россия  
✉ [vniiia@list.ru](mailto:vniiia@list.ru)

**Аннотация:** Признаком загрязнения почв в зонах воздействия промышленных объектов является накопление в них тяжелых металлов. С точки зрения экологических позиций более информативным считается анализ почв на содержание подвижных форм металлов. Существующие матричные стандартные образцы (СО) состава почвы, как правило, имеют фоновые уровни значений тяжелых металлов. Поэтому задача создания многокомпонентных СО на основе природной почвы с высоким содержанием подвижных форм металлов является актуальной.

В настоящей статье рассмотрены этапы разработки многокомпонентного СО предприятия состава почвы с аттестованным содержанием подвижных форм меди, цинка, свинца, марганца, кадмия, никеля и кобальта, превышающих предельно допустимые концентрации.

Для создания СО отобраны образцы почвы в селитебных зонах Челябинской и Владимирской областей, подвернутых техногенному загрязнению по методике, разработанной во ФГБНУ «ВНИИ агрохимии». Метрологические характеристики (однородность, стабильность, аттестованные значения и погрешность аттестации) определялись согласно стандартным методикам. Аттестованные значения меди, цинка, свинца, марганца, кадмия, никеля и кобальта в СО получены в межлабораторном эксперименте атомно-абсорбционным методом при участии 59 аккредитованных испытательных лабораторий.

По результатам исследования разработано два СО предприятия разных типов почв, однородных и стабильных по составу, аттестованных на содержание подвижных форм меди, цинка, свинца, марганца, кадмия, никеля и кобальта в концентрациях, превышающих фоновые уровни.

Разработанные СО предприятия предназначены для обеспечения контроля качества измерений содержания подвижных форм тяжелых металлов при агроэкологическом мониторинге и научных исследованиях.

**Ключевые слова:** стандартный образец предприятия, СОП, тяжелые металлы, предельно допустимые концентрации

**Ссылка при цитировании:** Разработка и исследование стандартных образцов предприятия состава почв, трансформированных техногенным воздействием / Г. А. Ступакова [и др.] // Эталоны. Стандартные образцы. 2022. Т. 18, № 2. С. 19–34. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2022-18-2-19-34>

Статья поступила в редакцию 09.04.2022; одобрена после рецензирования 20.04.2022; принята к публикации 15.06.2022.

## REFERENCE MATERIALS

Research Article

# Development of In-House Reference Materials for the Composition of Soils Polluted With Heavy Metals

Galina A. Stupakova , Elena E. Ignatyeva , Tatiana I. Shchiptetsova , Dmitriy K. Mitrofanov 

Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russia

✉ [vniiia@list.ru](mailto:vniiia@list.ru)

**Abstract:** Pollution of agricultural soils with heavy metals is an acute problem both in Russia and globally. The use of standard methods for soil monitoring is hampered by the need to regularly modernize monitoring equipment. Therefore, the development of matrix multicomponent reference materials (RM) for the composition of soils contaminated with heavy metals in concentrations exceeding their limiting values in natural soils is a highly relevant research task.

To develop in-house multicomponent RMs of soil composition with the certified value of mobile forms of copper, zinc, lead, cadmium, nickel, cobalt and manganese in concentrations exceeding their trace levels.

Soils for the development of RMs were collected in residential areas of the Vladimir Oblast and Chelyabinsk Oblast subjected to technogenic pollution. Samples were prepared according to a conventional methodology. The metrological characteristics of the developed RMs were determined by the method of interlaboratory comparison with the participation of 59 accredited testing laboratories. The mobile forms of heavy metals were determined by the atomic absorption method. An assessment of the error and uncertainty of the certified RM value was performed.

Two in-house RMs of the composition of soils containing mobile forms of copper, zinc, lead, cadmium, nickel, cobalt and manganese at the level of tens of maximum allowable concentrations were developed. The developed RMs were found to be homogeneous in terms of all certified indicators. The calculated error did not exceed admissible values. The shelf life of RM samples was determined to be two years.

The developed in-house RMs can be used for supporting agroecological monitoring and research programmes.

**Keywords:** soil contamination with heavy metals, in-house reference material, in-house RM, heavy metals, maximum allowable concentrations

**For citation:** Stupakova G. A., Ignatyeva E. E., Shchiptetsova T. I., Mitrofanov D. K. Development of in-house reference materials for the composition of soils polluted with heavy metals. Measurement Standards. Reference Materials. 2022;18(2):19–34. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2022-18-2-19-34> (In Russ.).

The article was submitted 09.04.2022; approved after reviewing 20.04.2022; accepted for publication 15.06.2022.

### Введение

Из данных многолетних наблюдений Росгидромета [1] известно, что по суммарному индексу загрязнения почв тяжелыми металлами, рассчитанному для территорий в пределах пятикилометровой зоны, 2,2 % населенных пунктов России относятся к категории «чрезвычайно опасного загрязнения», 10,1 % – «опасного загрязнения», 6,7 % – «умеренно опасного загрязнения». Площадь нарушенных земель в России составляет в настоящее время более 1 млн га, причем на сельское хозяйство из них приходится 10 %. Несмотря

на 51 тыс. га восстанавливаемых земель, столько же переходит ежегодно в категорию нарушенных.

Крайне неблагоприятная ситуация складывается также с накоплением вредных веществ в почвах городских и промышленных территорий. В целом по стране в настоящее время учтено более 100 тыс. опасных производств и объектов (из них порядка 3 тыс. химических), что предопределяет весьма высокие уровни рисков техногенного загрязнения и аварийных явлений с масштабными выбросами высокотоксичных материалов. Размер и форма ареала загрязнения определяется

влиянием целого ряда факторов: климатических условий (сила и направление ветров), рельефа местности, технологических факторов (состояние отходов, способы поступления отходов в окружающую среду, высота труб предприятий и т. д.) [2]. Тяжелые металлы попадают в почву в составе средств защиты растений, минеральных и нетрадиционных удобрений, изготовляемых из различных отходов [3].

Санитарный и экологический контроль за состоянием почв и грунтов должен осуществляться в строгом соответствии с существующими санитарно-гигиеническими нормативами СанПиН 1.2.3685-21 – предельно-допустимыми концентрациями (ПДК) и ориентировочно-допустимыми концентрациями (ОДК) тяжелых металлов в почве. Согласно схеме, принятой медиками-гигиенистами, нормирование подвижных форм тяжелых металлов в почвах подразделяется на: транслокационное (переход элемента в растения); миграционное (переход в воду) и общесанитарное (влияние на самоочищающую способность почв и почвенный микробиоценоз), что отражено в СанПиН 1.2.3685-21.

При агроэкологическом мониторинге содержания тяжелых металлов в почве интерес представляют, прежде всего, подвижные формы<sup>1</sup> металлов как наиболее мобильная и самая опасная часть подвижных запасов тяжелых металлов в почве. Агроэкологический мониторинг земель сельскохозяйственного назначения включает определение в почвах содержания подвижных форм металлов разными методами, включая атомно-абсорбционный, инверсионно-вольтамперометрический, атомно-эмиссионный с атомизацией в индуктивно-связанной плазме и др. Каждый метод характеризуется своим диапазоном определений металлов. Наиболее востребованные методы определения подвижных форм металлов, используемые в испытательных лабораториях (ИЛ) агрохимической службы и других лабораториях АПК, имеют или диапазоны определения фонового уровня содержания металлов в почве, или нижние диапазоны на уровне нескольких ПДК [4]. Существующие методы с широким диапазоном определения металлов, например, М-МВИ-80–2008, ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011, используются в небольшом проценте этих лабораторий в связи с ограниченными возможностями смены приборного парка. Поэтому разработка матричных стандартных образцов (СО) состава почв, содержащих тяжелые металлы в концентрациях,

соответствующих диапазонам используемых методик выполнения измерений, на сегодняшний день является одной из важнейших задач.

Матричные многокомпонентные СО с концентрациями подвижных форм тяжелых металлов, выходящими за диапазон их содержания в природных почвах, в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений СО отсутствуют. Для этих целей в основном используются СО состава почв с массовых долей валовых и кислоторастворимых форм металлов<sup>2</sup> и СО-имитаторы [5]. Разработка СО состава на основе почвы из зоны техногенного загрязнения с концентрацией подвижных форм тяжелых металлов выше ПДК сопряжена с определенными сложностями. С одной стороны, это трудности при отборе исходного материала, в данном случае – образцов почвы в селитебных зонах промышленных предприятий и зонах отчуждения, доступ к которым ограничен. С другой стороны, это сложности при оценке однородности материала СО, где содержание металла в исследуемой почве может находиться в пределах от фонового до предельно допустимого, а также выше предельно допустимого уровня.

Целью данной работы является разработка многокомпонентных СО предприятия (СОП) состава почвы с аттестованным содержанием подвижных форм семи наиболее токсичных видов тяжелых металлов – меди, цинка, марганца, свинца, кадмия, никеля, кобальта – в концентрациях, превышающих фоновый уровень.

### Материалы и методы

Почвы для создания СОП были отобраны: СОП ППЗ-02 в селитебной зоне ООО «Карабашмедь», г. Карабаш, Челябинская область; СОП ППЗ-03 в зоне отчуждения «Кольчугинский завод цветных металлов», г. Кольчугино, Владимирская область. Выбор данных территорий обусловлен тем, что оба предприятия являются источником мощного техногенного загрязнения окружающей среды. Экологическая обстановка в Карабаше, официально признанной зоной экологического бедствия, охарактеризована в целом ряде научных исследований, например [6]. Эколого-геохимический анализ состояния почв во Владимирской области представлен в [7].

Материал для СО отбирали с участка площадью 2 м<sup>2</sup> (Владимирская область), 1 м<sup>2</sup> (Челябинская область) на глубине 0–20 см. Масса исходного материала

<sup>1</sup> Подвижность элементов в почве – характеристика состояния химических элементов и их соединений в почве по способности переходить в водную вытяжку или в вытяжки щелочными, кислыми и нейтральными солевыми растворами.

<sup>2</sup> ГСО 2498-83/2500-83, ГСО 2501-83/2503-83, ГСО 2504-83/2506-83, ГСО 2507-83/2509-83, ГСО 9231-2008, ГСО 9288–2009.

СОП ППЗ-02 и СОП ППЗ-03 составила 40 и 80 кг, соответственно. Исходный материал высушивали на воздухе при температуре не выше +30 °С. Высушенную почву измельчали на размольной машине с просеиванием через сито с отверстиями диаметром 1 мм. Оставшиеся на сите органические остатки, камни и другие включения отбрасывали. Далее исходный материал СО усредняли по методике изготовления, исследования и аттестации стандартных образцов состава почв.

Техническим заданием на разработку стандартных образцов были установлены следующие диапазоны содержания подвижных форм металлов (млн<sup>-1</sup>): меди – от 3,0 – не ограничен; цинка – от 23,0 – не ограничен; свинца – от 6,0 – не ограничен; кадмия – от 1,0–10,0; никеля – от 4,0–150,0; кобальта от 1,0–6,0.

Аттестованные характеристики СО получены в межлабораторном эксперименте в 22 (СОП ППЗ-02) и 37 (СОП ППЗ-03) ИЛ, аккредитованных на соответствие требованиям ГОСТ ISO/IEC17025–2019 согласно алгоритму ГОСТ 8.532-2002.

Характеристику погрешности, обусловленной неоднородностью, учитывали при оценивании погрешности аттестованного значения СО в соответствии с ГОСТ 8.531-2002. Экспериментальные исследования и обработка результатов для оценки погрешности от нестабильности проводились в соответствии с методикой оценивания характеристики стабильности, описанной в методике оценивания характеристики стабильности Р 50.2.031-2003.

Подвижные формы металлов определяли атомно-абсорбционным методом, из них медь, цинк, марганец, свинец, кадмий, никель оценивались по методическим указаниям РД 52.18.289–90, а кобальт – по методике выполнения измерений М–МВИ-80–2008.

### Результаты и обсуждение

Для характеристики однородности разрабатываемых СОП ППЗ-02 и СОП ППЗ-03 была использована оценка неоднородности распределения аттестуемого элемента по экспериментально полученным данным для семи аттестуемых элементов (меди, цинка, свинца, кадмия, марганца, никеля и кобальта). Исследование однородности материала СО выполнялось способом, основанным на многократном измерении содержания аттестуемого компонента в нескольких пробах, отобранных случайным образом из всего материала. Число отбираемых проб  $N$  определялось по таблице, приведенной в методике изготовления, исследования и аттестации стандартных образцов состава почв, в зависимости от числа измерений  $J$  и от соотношения:

$$Q = \Delta_{\text{доп.}} / S_{\text{мви}},$$

где  $\Delta_{\text{доп.}}$  – допускаемое значение погрешности аттестованного значения СО;

$S_{\text{мви}}$  – среднеквадратическое отклонение, характеризующее случайную погрешность повторяемости ( $S_{\text{мви}} \leq \Delta_{\text{доп.}}$ ).

Анализ проб проводился в шести параллельных определениях в условиях повторяемости,  $J=6$ . Расчет коэффициента  $Q$  и число отбираемых проб для каждого аттестуемого компонента приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что число отбираемых проб для каждого аттестуемого компонента составило от 13 до 15. Для удобства проведения анализа исследования однородности по всем компонентам проводилось по наибольшему числу отбираемых проб, равному 15.

Для примера в табл. 2 приведены результаты измерений массовой доли цинка (млн<sup>-1</sup>) в материале СОП ППЗ-02 при исследовании однородности.

Проведен расчет погрешности от неоднородности материалов СОП и погрешности аттестованного значения с учетом погрешности от неоднородности СО (табл. 3).

Для оценки влияния неоднородности распределения каждого из элементов (меди, цинка, свинца, кадмия, никеля, кобальта и марганца) на суммарную стандартную неопределенность (погрешность) аттестованного значения СО рассчитан относительный вклад неопределенности от неоднородности в суммарную стандартную неопределенность аттестованного значения, результаты представлены в табл. 4. Установлено, что для никеля и цинка в СОП ППЗ-02 вклад неоднородности в погрешность аттестованного значения незначителен, варьирует в пределах 12,1–16,5%. Распределение меди, свинца и кадмия в исследуемом СОП отличается наименьшей однородностью и составляет от 20,0 до 24,3%.

Можно отметить, что в СОП ППЗ-03 состава почвы кобальт и марганец распределены с высокой степенью равномерности по всему объему материала и составляют от 16,1 до 16,8%. Распределение меди и цинка в этом образце менее однородно и варьируется в диапазоне от 22,9 до 28,1%.

Статистическая обработка результатов экспериментальной оценки СОП ППЗ-02 и СОП ППЗ-03 показала, что погрешность СО с учетом погрешности от неоднородности по всем аттестуемым показателям не превышает допустимого значения погрешности аттестованного значения. Согласно данным, представленным в табл. 2, материалы СОП однородны по всем исследуемым показателям.

Таблица 1. Количество отбираемых проб для оценивания однородности

Table 1. Number of samples for evaluating RM homogeneity

Наименование компонента	Единица величины	Допускаемое значение погрешности аттестованного значения $CO$ , $\Delta_{доп.}$ , млн <sup>-1</sup>	$S_{МВИ}$ млн <sup>-1</sup>	$Q = \Delta_{доп.} / S_{МВИ}$	Число отбираемых проб, N	$M_o/M^*$
СОП ППЗ-02						
Медь	млн <sup>-1</sup>	45	34	1,3	15	1
Цинк	млн <sup>-1</sup>	82	20	4,1	13	1
Свинец	млн <sup>-1</sup>	170	127	1,3	15	1
Кадмий	млн <sup>-1</sup>	0,28	0,10	2,8	13	1
Никель	млн <sup>-1</sup>	8	5	1,6	13	1
СОП ППЗ-03						
Медь	млн <sup>-1</sup>	19	14	1,4	15	1
Цинк	млн <sup>-1</sup>	12	3	4,0	13	1
Марганец	млн <sup>-1</sup>	5	4	1,3	15	1
Кобальт	млн <sup>-1</sup>	0,06	0,05	1,2	15	1

$M_o/M^*$  – отношение массы отбираемой пробы для исследования однородности к наименьшей представительной пробе для данного компонента.

$M_o/M^*$  – ratio of the sample mass collected for investigating RM homogeneity to the smallest representative sample for the given component.

Таблица 2. Результаты измерений для оценки однородности массовой доли цинка, млн<sup>-1</sup> в материале стандартного образца предприятия (СОП ППЗ-02)

Table 2. Homogeneity of the zinc mass fraction, ppm, in the RM PPZ-02

Номер пробы N	Массовая доля цинка, млн <sup>-1</sup> параллельные определения j					
	1	2	3	4	5	6
1	662	690	670	695	684	675
2	698	710	685	697	707	695
3	670	675	678	713	675	679
4	665	687	676	710	679	693
5	682	692	660	682	674	691
6	660	689	690	700	710	686
7	670	726	684	690	685	713
8	707	690	715	700	707	720
9	712	705	684	690	688	710
10	705	664	685	688	665	681
11	669	682	664	701	665	670

Окончание табл. 2  
End of Table 2

Номер пробы N	Массовая доля цинка, млн <sup>-1</sup> параллельные определения j					
	1	2	3	4	5	6
12	695	680	692	680	674	686
13	715	711	690	720	690	720
14	684	672	663	682	668	672
15	668	683	687	680	669	700
<i>Xcp</i>	<i>SSe</i>	<i>SSн</i>	<i>SSe</i>	<i>SSн</i>	<i>Sн</i>	
687,73	13795,667	10052,03	183,9422	718,0024	9,4345	

Таблица 3. Оценка величин неопределенности (погрешностей) при аттестации стандартных образцов предприятия

Table 3. Uncertainty (error) values obtained during RM certification

Показатель	Аттестованное значение, $\hat{A}$ млн <sup>-1</sup>	Погрешность аттестации, $\Delta_{\hat{A}}$ млн <sup>-1</sup>	Среднеквадратическое отклонение погрешности от неоднородности аттестованного значения $CO, S_n$ млн <sup>-1</sup>	Погрешность аттестованного значения с учетом погрешности от неоднородности $CO, \Delta_{\hat{A}}$ млн <sup>-1</sup>	Границы допускаемых значений абсолютной погрешности аттестованного значения $CO, \Delta_d$ млн <sup>-1</sup>
------------	---	--	---	---	--

СОП ППЗ-02

Медь	850	39	10,85	44,63	45
Цинк	680	54	9,43	57,08	82
Свинец	2125	105	27,92	118,93	170
Кадмий	2,47	0,23	0,05	0,25	0,28
Никель	102	6	0,75	6,18	8

СОП ППЗ-03

Медь	349	15	5,09	18,13	19
Цинк	101	4	1,03	4,50	12
Марганец	76	4	0,68	4,22	5
Кобальт	1,32	0,06	0,01	0,06	0,08

Для оценки стабильности  $CO$  был выбран метод оценки погрешности нестабильности по результатам, полученным по аттестованным методикам М-МВИ-80-2008, РД 52.18.289-90. Оценка стабильности осуществлялась по результатам периодического контроля значений погрешности нестабильности в течение одного года (1/2 часть предполагаемого срока годности экземпляра).

Для оценки характеристики погрешности от нестабильности за период исследования стабильности СОПов определено число измерений  $N$  для каждой аттестуемой характеристики  $X_n$ , результаты представлены в табл. 5. Число измерений  $N$  определяется по методике, приведенной в методике оценивания характеристики стабильности Р 50.2.031-2003, в зависимости от отношения:

Таблица 4. Вклад погрешности от неоднородности распределения металлов в суммарную погрешность аттестованного значения СО

Table 4. Contribution of the error caused by metal distribution inhomogeneity to the total error of the certified RM value

Метрологическая характеристика	Значение метрологической характеристики материала СО, млн <sup>-1</sup> для показателей						
	Медь	Цинк	Свинец	Кадмий	Никель	Кобальт	Марганец
СОП ППЗ-02							
Sn	10,85	9,43	27,92	0,05	0,75	–	–
Dat	44,63	57,08	118,93	0,25	6,18		–
Вклад неопределенности (погрешности) от неоднородности в суммарную погрешность аттестованного значения СО, %	24,3	16,5	23,5	20,0	12,1		–
СОП ППЗ-03							
Sn	5,09	1,03	–	–	–	0,01	0,68
Dat	18,13	4,50	–	–	–	0,06	4,22
Вклад неопределенности (погрешности) от неоднородности в суммарную погрешность аттестованного значения СО, %	28,1	22,9	–	–	–	16,8	16,1

Таблица 5. Метрологические характеристики при исследовании стабильности и результаты расчета погрешности нестабильности в материале стандартных образцов предприятия

Table 5. Metrological stability characteristics and errors caused by instability of the developed RMs

Наименование компонента	Допускаемое значение погрешности аттестованного значения СО, $\Delta_{\text{доп}}$ , млн <sup>-1</sup>	$S_{\text{МВИ}}$ , млн <sup>-1</sup>	Значение $S_{\text{МВИ}}/\Delta_{\text{доп}}$	Число измерений, N	Коэффициент для экспоненциального сглаживания, $\alpha$	Допускаемая погрешность нестабильности, $\Delta T$ , млн <sup>-1</sup>
СОП ППЗ-02						
Медь, млн <sup>-1</sup>	45	43	0,95	18	0,2	30
Цинк, млн <sup>-1</sup>	82	48	0,58	6	0,3	55
Свинец, млн <sup>-1</sup>	170	128	0,75	11	0,25	113
Кадмий, млн <sup>-1</sup>	0,28	0,12	0,43	4	0,3	0,19
Никель, млн <sup>-1</sup>	8	6	0,75	11	0,25	5
СОП ППЗ-03						
Медь, млн <sup>-1</sup>	19	18	0,95	18	0,2	13
Цинк, млн <sup>-1</sup>	12	7	0,58	6	0,3	8
Марганец, млн <sup>-1</sup>	5	5	1	18	0,2	3
Кобальт, млн <sup>-1</sup>	0,09	0,12	0,75	11	0,25	0,06



$$S/\Delta_{\text{доп.}},$$

где  $\Delta_{\text{доп.}}$  – допускаемое значение погрешности аттестованного значения СО;

$S$  – среднее квадратическое отклонение, характеризующее случайную погрешность воспроизводимости.

При контроле стабильности измерялись текущие значения разности  $d_n$  через равные промежутки времени  $\Delta_t$ :

$$d_n = X_n - X_1,$$

где  $X_n$  – результат измерения аттестуемой характеристики СО в  $n$ -й момент времени;

$X_1$  – контрольный результат (берется результат первого измерения).

С целью снижения влияния случайной составляющей погрешности результатов измерения было проведено экспоненциальное сглаживание полученных значений  $d_n$  по формуле:

$$U_n = \alpha \times d_n + (1 - \alpha) \times U_{n-1},$$

где  $U_n$  – сглаженное значение результата измерения в момент времени  $n$  ( $n = 1, 2, \dots, N$ ), в качестве начального значения  $U_0$  принимается равным  $d_0$ ;

$\alpha$  – коэффициент, выбираемый в зависимости от отношения  $S/\Delta_{\text{доп.}}$  (табличные значения).

Результаты контроля стабильности представлены в табл. 6 и 7.

По вычисленным значениям  $U_n$  были определены скользящие размахи  $R_n$  по формуле

$$R_n = U_n - U_{n-1}.$$

Средний размах  $\bar{R}$  вычислялся по формуле

$$\bar{R} = \frac{1}{N-1} \sum_{n=2}^N R_n,$$

а коэффициент  $a$  – по полученным значениям  $U_n$  методом на наименьших квадратов

$$a = \frac{6 \times \sum_{n=1}^{N-1} n \times U(n+1)}{\tau(N-1)(2N-3)}.$$

Стандартное отклонение  $S_a$  коэффициента  $a$  было определено согласно формуле

$$S_a = \frac{S_U}{\tau} \sqrt{\frac{6N}{2N-3}},$$

а стандартное отклонение сглаженных оценок  $S_U$  согласно формуле

$$S_U = 0,89\bar{R}.$$

Для обоснованного назначения срока годности экземпляра СО определили допускаемое значение погрешности от нестабильности  $\Delta_T$ . По заданному допускаемому значению погрешности аттестованного значения СО  $\Delta_{\text{доп}}$  принимают  $\Delta_T = 2/3 \times \Delta_{\text{доп}}$ .

Для обоснования зависимости погрешности от нестабильности от времени проверили гипотезу о равенстве нулю коэффициента  $a$ . Для этой цели вычислили

$$t_{\text{стат.}} = \frac{|a|}{S_a} \text{ и сравнили полученное значение с кванти-$$

лью распределения Стьюдента со степенью свободы  $(N-1) - t_{(N-1);0,95}$ .

Гипотезу о равенстве нулю коэффициента  $a$  принимают, если выполняется неравенство

$$t_{\text{стат.}} \leq t_{(N-1);0,95}.$$

Неравенство  $t_{\text{стат.}} \leq t_{(N-1);0,95}$  выполняется для всех элементов. Следовательно, статистически значимого изменения за период исследования стабильности СОП ППЗ-02 и СОП ППЗ-03 не обнаружено.

Срок годности определялся по формуле

$$T \leq \frac{\Delta T}{t_{(N-1);0,95} S_a}$$

и составил не более двух лет для СОП ППЗ-02 и СОП ППЗ-03.

При отсутствии критериев степени загрязнения почвы тяжелыми металлами (ПДК и ОДК) сравнение уровня загрязнения проводят с фоновыми значениями массовых долей металлов в почве. В соответствии с руководящим документом РД 52.18.718-2008 фоновая концентрация – это средняя концентрация вещества в исследуемых почвах, зависящая от геологических и почвообразующих условий и не подвергнутая техногенному воздействию. Массовая доля тяжелого металла на уровне трех фоновых значений или более служит показателем загрязнения почвы. При загрязнении почвы одним металлом оценку степени загрязнения (слабая, средняя, сильная и очень сильная) проводят в соответствии с методическими указаниями МУ 2.1.7.730–99. Уровень загрязнения СО почв по отношению к фоновым и предельно допустимым содержаниям тяжелых металлов представлен в табл. 8. Согласно нормативам СанПиН 1.2.3685–21, образцы СОП ППЗ-02 и СОП ППЗ-03 по уровню содержания меди, цинка, свинца, кадмия и никеля относятся к 1 классу опасности и имеют «чрезвычайно опасную» категорию. В образце СОП ППЗ-03 содержание подвижных



Таблица 6. Результаты исследования стабильности в материале СОП ППЗ-02

Table 6. Stability of the RM PPZ-02

Число измерений, N	Xп, млн <sup>-1</sup>	dn, млн <sup>-1</sup>	$\alpha \cdot dn$	$(1-\alpha)Un-1$	Un	Rn
массовая доля меди						
1	868,00	0	0,0	0	0	-
2	857,0	11	2,2	0,000	2,200	2,200
3	952,0	-84	-16,8	1,760	-15,040	17,240
4	985,0	-117	-23,4	-12,032	-35,432	20,392
5	821,0	47	9,4	-28,346	-18,946	16,486
6	865,0	3	0,6	-15,156	-14,556	4,389
7	800,0	68	13,6	-11,645	1,955	16,511
8	770,0	98	19,6	1,564	21,164	19,209
9	836,0	32	6,4	16,931	23,331	2,167
10	935,0	-67	-13,4	18,665	5,265	18,066
11	876,0	-8	-1,6	4,212	2,612	2,653
12	952,0	-84	-16,8	2,090	-14,710	17,322
13	985,0	-117	-23,4	-11,768	-35,168	20,458
14	850,0	18	3,6	-28,135	-24,535	10,634
15	880,0	-12	-2,4	-19,628	-22,028	2,507
16	921,0	-53	-10,6	-17,622	-28,222	6,194
17	870,0	-2	-0,4	-22,578	-22,978	5,244
18	960,0	-92	-18,4	-18,382	-36,782	13,804
<b>R ср.</b>	<b>a</b>	<b>Su</b>	<b>Sa</b>	<b>Квантиль <math>t_{(n-1)}; 0,95</math> a</b>	<b>tсрат</b>	<b>T(лет)</b>
<b>11,499</b>	-1,1097	10,234	0,7714	1,74	1,44	2,0

массовая доля свинца

1	2140	0	0	0	0	-
2	1911	229	57,3	0,000	57,250	57,250
3	2200	-60	-15,0	42,938	27,938	29,313
4	1946	194	48,5	20,953	69,453	41,516
5	2150	-10	-2,5	52,090	49,590	19,863
6	2100	40	10,0	37,192	47,192	2,397
7	2051	89	22,3	35,394	57,644	10,452

Продолжение табл. 6  
Continuation of Table 6

Число измерений, N	Xп, млн <sup>-1</sup>	dn, млн <sup>-1</sup>	$\alpha \cdot dn$	(1- $\alpha$ )Un-1	Un	Rn
8	2120	20	5,0	43,233	48,233	9,411
9	2140	0	0,0	36,175	36,175	12,058
10	1979	161	40,3	27,131	67,381	31,206
11	2500	-360	-90,0	50,536	-39,464	106,845
<b>R ср.</b>	<b>a</b>	<b>Su</b>	<b>Sa</b>	<b>Квантиль t<sub>(n-1)</sub>; 0,95 a</b>	<b>tстат</b>	<b>T(лет)</b>
<b>32,031</b>	2,553	28,508	1,507	1,81	1,69	3,5

массовая доля никеля

1	94,0	0	0	0	0	-
2	97,0	-3,00	-0,75	0,000	-0,750	0,750
3	95,5	-1,48	-0,37	-0,563	-0,933	0,183
4	89,0	5,00	1,25	-0,699	0,551	1,483
5	97,0	-3,00	-0,75	0,413	-0,337	0,888
6	97,2	-3,20	-0,80	-0,253	-1,053	0,716
7	96,0	-2,00	-0,50	-0,790	-1,290	0,237
8	88,0	6,00	1,50	-0,967	0,533	1,822
9	94,0	0,00	0,00	0,400	0,400	0,133
10	105,0	-11,00	-2,75	0,300	-2,450	2,850
11	99,0	-5,00	-1,25	-1,838	-3,088	0,637
<b>R ср.</b>	<b>a</b>	<b>Su</b>	<b>Sa</b>	<b>Квантиль t<sub>(n-1)</sub>; 0,95 a</b>	<b>tстат</b>	<b>T(лет)</b>
<b>0,970</b>	-0,081	0,863	0,046	1,81	1,77	5,0

массовая доля цинка

1	675	0	0	0	0	-
2	635	40	12,0	0,000	12,000	12,000
3	611	64	19,2	8,400	27,600	15,600
4	695,0	-20	-6,0	19,320	13,320	14,280
5	660	15	4,5	9,324	13,824	0,504
6	712	-37	-11,1	9,677	-1,423	15,247
7	670	5	1,5	-0,996	0,504	1,927

Окончание табл. 6

End of Table 6

Число измерений, N	Xп, млн <sup>-1</sup>	dn, млн <sup>-1</sup>	$\alpha \cdot dn$	$(1-\alpha)Un-1$	Un	Rn
8	726	-51	-15,3	0,353	-14,947	15,451
9	635	40	12,0	-10,463	1,537	16,484
10	794	-119	-35,7	1,076	-34,624	36,161
11	700	-25	-7,5	-24,237	-31,737	2,887
<b>R ср.</b>	<b>a</b>	<b>Su</b>	<b>Sa</b>	<b>Квантиль t<sub>(n-1)</sub>; 0,95 a</b>	<b>tсрат</b>	<b>T(лет)</b>
<b>13,054</b>	-0,741	11,618	0,614	1,81	1,21	4,1

Таблица 7. Результаты исследования стабильности в материале СОП ППЗ-03

Table 7. Stability of the RM PPZ-03

Число измерений, N	Xп, млн <sup>-1</sup>	dn, млн <sup>-1</sup>	$\alpha \cdot dn$	$(1-\alpha)Un-1$	Un	Rn
массовая доля меди						
1	340	0	0	0	0	-
2	357	-17	-3,4	0,000	-3,400	3,400
3	358	-18	-3,6	-2,720	-6,320	2,920
4	312	28	5,6	-5,056	0,544	6,864
5	330	10	2,0	0,435	2,435	1,891
6	336	4	0,8	1,948	2,748	0,313
7	339	1	0,2	2,199	2,399	0,350
8	340	0	0,0	1,919	1,919	0,480
9	341	-1	-0,2	1,535	1,335	0,584
10	315	25	5,0	1,068	6,068	4,733
11	333	7	1,4	4,854	6,254	0,186
12	387	-47	-9,4	5,004	-4,396	10,651
13	300	40	8,0	-3,517	4,483	8,879
14	345	-5	-1,0	3,586	2,586	1,897
15	344	-4	-0,8	2,069	1,269	1,317
16	368	-28	-5,6	1,015	-4,585	5,854
17	391	-51	-10,2	-3,668	-13,868	9,283

Продолжение табл. 7  
Continuation of Table 7

Число измерений, N	Xп, млн <sup>-1</sup>	dn, млн <sup>-1</sup>	$\alpha \cdot dn$	$(1-\alpha)Un-1$	Un	Rn
18	397	-57	-11,4	-11,094	-22,494	8,626
<b>R ср.</b>	<b>a</b>	<b>Su</b>	<b>Sa</b>	<b>Квантиль <math>t_{(n-1)}; 0,95 a</math></b>	<b>tстат</b>	<b>T(лет)</b>
<b>4,013</b>	-0,201	3,572	0,269	1,74	0,75	2,3

## массовая доля цинка

1	99	0	0	0	0	-
2	93	6	1,8	0,000	1,800	1,800
3	91	8	2,5	1,260	3,750	1,950
4	95	4	1,2	2,625	3,825	0,075
5	104	-5	-1,5	2,678	1,178	2,648
6	95	4	1,3	0,824	2,144	0,967
7	99	0	0,0	1,501	1,501	0,643
8	101	-2	-0,6	1,051	0,451	1,050
9	92	7	2,0	0,315	2,295	1,845
10	100	-1	-0,3	1,607	1,307	0,989
11	105	-6	-1,8	0,915	-0,885	2,192
<b>R ср.</b>	<b>a</b>	<b>Su</b>	<b>Sa</b>	<b>Квантиль <math>t_{(n-1)}; 0,95 a</math></b>	<b>tстат</b>	<b>T(лет)</b>
<b>1,416</b>	0,092	1,260	0,067	1,81	1,38	5,5

## массовая доля кобальта

1	1,28	0	0	0	0	-
2	1,32	-0,04	-0,010	0,000	-0,010	0,010
3	1,35	-0,07	-0,018	-0,008	-0,025	0,015
4	1,29	-0,01	-0,003	-0,019	-0,021	0,004
5	1,27	0,01	0,003	-0,016	-0,013	0,008
6	1,32	-0,04	-0,010	-0,010	-0,020	0,007
7	1,23	0,05	0,013	-0,015	-0,003	0,018
8	1,34	-0,06	-0,015	-0,002	-0,017	0,014
9	1,22	0,06	0,015	-0,013	0,002	0,019
10	1,29	-0,01	-0,003	0,002	-0,001	0,003

Окончание табл. 7  
End of Table 7

Число измерений, N	Xп, млн <sup>-1</sup>	dn, млн <sup>-1</sup>	$\alpha \cdot dn$	$(1-\alpha)Un-1$	Un	Rn
11	1,30	-0,02	-0,005	-0,001	-0,006	0,005
<b>R ср.</b>	<b>a</b>	<b>Su</b>	<b>Sa</b>	<b>Квантиль <math>t_{(n-1)}; 0,95 \alpha</math></b>	<b>tстат</b>	<b>T(лет)</b>
<b>0,010</b>	-0,001	0,009	0,0005	1,81	1,25	5,5

массовая доля марганца

1	77,0	0	0	0	0	-
2	81,0	-4,0	-0,80	0,000	-0,800	0,800
3	76,0	1,0	0,20	-0,640	-0,440	0,360
4	84,5	-7,5	-1,50	-0,352	-1,852	1,412
5	82,0	-5,0	-1,00	-1,482	-2,482	0,630
6	80,0	-3,0	-0,60	-1,985	-2,585	0,104
7	73,0	4,0	0,80	-2,068	-1,268	1,317
8	73,8	3,2	0,64	-1,015	-0,375	0,894
9	74,0	3,0	0,60	-0,300	0,300	0,675
10	78,0	-1,0	-0,20	0,240	0,040	0,260
11	72,6	4,4	0,88	0,032	0,912	0,872
12	75,0	2,0	0,40	0,730	1,130	0,218
13	74,0	3,0	0,60	0,904	1,504	0,374
14	77,8	-0,8	-0,16	1,203	1,043	0,461
15	75,0	2,0	0,40	0,834	1,234	0,191
16	70,0	7,0	1,40	0,988	2,388	1,153
17	77,1	-0,1	-0,02	1,910	1,890	0,498
18	79,0	-2,0	-0,40	1,512	1,112	0,778
<b>R ср.</b>	<b>a</b>	<b>Su</b>	<b>Sa</b>	<b>Квантиль <math>t_{(n-1)}; 0,95 \alpha</math></b>	<b>tстат</b>	<b>T(лет)</b>
<b>0,647</b>	0,053	0,576	0,043	1,74	1,21	3,3

форм марганца и кобальта высокое, но не превышает предельно-допустимых уровней. Что касается кадмия, у которого ПДК не установлено, его содержание выше трех уровней фонового значения, следовательно, можно сказать, что почва загрязнена этим элементом.

Использование разработанных многокомпонентных СО на основе естественной матрицы при анализе почв, трансформированных техногенным загрязнением, обеспечит близость применяемых стандартных образцов к анализируемым пробам, что не всегда

Таблица 8. Уровень загрязнения стандартных образцов предприятия состава почв подвижными формами тяжелых металлов

Table 8. Heavy metal concentrations in the developed RMs of soil composition

Металл	ПДК, мг/кг (для подвижных форм металлов)	Фоновое содержание подвижных форм металлов в различных типах почв, мг/кг	Аттестованное значение и границы абсолютной погрешности аттестованного значения СО (P=0,95), мг/кг	
			СОП ППЗ-02	СОП ППЗ-03
Медь	3,0	0,10–15,0	850±45	349±18
Цинк	23,0	0,1–25,0	680±57	101±4
Марганец	100	1,0–170	–	76±4
Свинец	6,0	0,4–5,0	2125±119	–
Кадмий	не устан.	0,02–0,31	2,47±0,25	–
Никель	4,0	0,30–2,05	102±6	–
Кобальт	5,0	0,08–0,40	–	1,32±0,06

могут обеспечить стандартные образцы утвержденного типа.

### Выводы

В результате проведенных исследований разработаны два стандартных образца предприятия (СОП ППЗ-02 и СОП ППЗ-03) состава почвы с содержанием меди, цинка, свинца, кадмия и никеля на уровне десятков ПДК. Данные СО предназначены для контроля выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов в почвах, трансформированных техногенным воздействием, атомно-абсорбционным методом по РД 52.18.289–90.

Согласно серии испытаний и проведенным статистическим расчетам, погрешность полученных СОП с учетом погрешности от неоднородности не превышает допустимых значений. Установлено, что материалы СОП являются однородными по всем аттестуемым показателям. Срок годности экземпляров СО, определенный на основе расчета допускаемого значения погрешности от нестабильности, составил два года.

Разработанные СО на основе природной почвы при обеспечении однородности свойств стандартных образцов и их стабильности могут быть использованы для повышения качества измерений в различных ведомственных лабораториях, проводящих научные исследования и агроэкологический мониторинг.

**Благодарности:** Авторы выражают благодарность и признательность рецензенту статьи за ценные замечания и предложения по тексту статьи.

**Acknowledgements:** The authors express their appreciation to the reviewer for his/her valuable comments and suggestions that contributed significantly to the quality of the publication.

**Вклад соавторов:** Ступакова Г. А. – разработка концепции исследования, сбор литературных данных, анализ экспериментальных данных, критический анализ и доработка текста. Игнатьева Е. Э. – составление технического задания, организация экспериментальных работ по аттестации СО в межлабораторном эксперименте, получение и обработка экспериментальных данных. Щиплецова Т. И. – организация экспериментальных работ по аттестации СО в межлабораторном эксперименте, обработка экспериментальных данных. Митрофанов Д. К. – подготовка материала стандартных образцов предприятия, усреднение исходного материала, фасовка, упаковка, организация экспериментальных работ по аттестации СО в межлабораторном эксперименте.

**Author contribution statement:** Stupakova G. A. – research concept development, literature data collection, experimental data analysis, critical analysis and revision of the text. Ignatieva E. E. – technical design specification, organization of interlaboratory comparisons for RM certification, obtaining and processing experimental data. Shchipletova T. I. – organization of interlaboratory comparisons for RM certification, processing of experimental data. Mitrofanov D. K. – preparation of in-house RMs, averaging of the source material, RM packaging, organization of interlaboratory comparisons for RM certification.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2020 год. М.: Росгидромет, 2021. 205 с.
2. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2017 году. Обнинск: НПО Тайфун, 2018. 120 с.
3. Водяницкий Ю. Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами и их экологическая опасность (аналитический обзор) // Почвоведение. 2013. № 7. С. 872–881. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13050171>
4. Проблемы разработки и применения стандартных образцов почвы, загрязненных тяжелыми металлами / Г. А. Ступакова [и др.] // Плодородие. 2017. № 6. С. 41–43.
5. Оценка метрологических характеристик многокомпонентного стандартного образца почвы, загрязненного тяжелыми металлами / Г. А. Ступакова [и др.] // Плодородие. 2019. № 3. С. 54–56. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.108.16>
6. Forms of Cu (II), Zn (II), and Pb (II) compounds in technogenically transformed soils adjacent to the Karabashmed copper smelter / T. M. Minkina [et al.] // Journal of Soils and Sediments. 2017. Vol. 18, no. 6. P. 2217–2228. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1708-2>
7. Чеснокова С. М., Савельев О. В. Эколого-геохимическая оценка загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком почв городов Владимирской области с различной спецификой промышленного производства // Экология урбанизированных территорий. 2019. 1. С. 43–49. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2019-11043>

## REFERENCES

1. Review of the state and pollution of the environment in the Russian Federation for 2020. Moscow: Roshydromet; 2021. 205 p. (In Russ.).
2. Soil pollution of the Russian Federation by toxicants of industrial origin in 2017. Obninsk: NPO Typhoon; 2018. 120 p. (In Russ.).
3. Vodyanitskii Y. N. Contamination of soils with heavy metals and metalloids and its ecological hazard (analytic review). *Eurasian Soil Science*. 2013;46(7):793–801. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13050171>
4. Stupakova G. A., Pankratova K. G., Ignat'eva E. E., Shchelokov V. I., Shchiplitsova T. I., Mitrofanov D. K. Problems in the development and application of reference soil samples contaminated with heavy metals. *Plodorodie*. 2017;(6):41–43. (In Russ.).
5. Stupakova G. A., Ignatyeva E. E., Schiplecova T. I., Dengina S. A., Mitrofanov D. K. Evaluation of metrological characteristics of multicomponent reference soil sample polluted with heavy metals. *Plodorodie*. 2019;(3):54–56. (In Russ.). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.108.16>
6. Minkina T. M., Linnik V. G., Nevidomskaya D. G. et al. Forms of Cu (II), Zn (II), and Pb (II) compounds in technogenically transformed soils adjacent to the Karabashmed copper smelter. *Journal of Soils and Sediments*. 2017;18(6):2217–2228. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1708-2>
7. Chesnokova S. M., Savel'yev O. V. Pollution with heavy metals and arsenic of the soils of the cities of the vladimir region with different specificity of industrial production. *Ecology of urban areas*. 2019;(1):43–49. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2019-11043>

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

ГОСТ 8.531–2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Стандартные образцы состава монолитных и дисперсных материалов. Способы оценивания однородности = State system for ensuring the uniformity of measurements. Reference materials of composition of solid and disperse materials. Ways of homogeneity assessment : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 13 августа 2002 г. № 299-ст : переиздание : дата введения 2003.03.01. / разработан УНИИМ. Москва : Стандартинформ, 2003. 10 с. Текст : непосредственный.

ГОСТ 8.532–2002. ГСИ. Стандартные образцы состава веществ и материалов. Межлабораторная метрологическая аттестация. Содержание и порядок проведения работ = State system for ensuring the uniformity of measurements. Certified reference materials of composition of substances and materials. Interlaboratory metrological certification. Content and order of works: межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 13 августа 2002 г. № 299-ст : переиздание : дата введения 2003.03.01. / разработан УНИИМ. Москва : ИПК Издательство стандартов, 2003. 10 с.

М-МВИ-80-2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии : методика измерений / разработана ООО Мониторинг. С.Петербург : 2008. 36 с. Текст : непосредственный.

ГСО 2498-83/2500-83 Стандартный образец состава дерново-подзолистой супесчаной почвы (комплект СДПС). Текст : электронный // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений : официальный сайт. 2022. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/19/items/393926> (дата обращения: 30.03.2022).

ГСО 2501-83/2503-83 Стандартный образец состава красноземной почвы (комплект СКР). Текст : электронный // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений : официальный сайт. 2022. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/19/items/393925> (дата обращения: 30.03.2022).



ГСО 2504-83/2506-83 Стандартный образец состава почвы серозема карбонатного (комплект ССК). Текст : электронный // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений : официальный сайт. 2022. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/19/items/393924> (дата обращения: 30.03.2022).

ГСО 2507-83/2509-83 Стандартный образец состава почвы чернозема типичного (комплект СЧТ). Текст : электронный // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений : официальный сайт. 2022. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/19/items/393923> (дата обращения: 30.03.2022).

ГСО 9231-2008 Стандартный образец состава почвы (ТЭП К). Текст : электронный // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений : официальный сайт. 2022. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/19/items/390954>

ГСО 9288-2009 Стандартный образец состава почвы (ТЭП В) Текст : электронный // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений : официальный сайт. 2022. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/19/items/390897>

Методические указания по изготовлению, исследованию и аттестации стандартных образцов состава почв / под редакцией академика РАН В.Г. Сычева : методика измерений / разработана ВНИИА. Москва : 2018. 56 с.

МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Методические указания : методика измерений / разработана Минздравом России. Москва : 1999. 36 с.

ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011. Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовых долей металлов в осадках сточных вод, донных отложениях, образцах растительного происхождения спектральными методами : методика измерений / разработана ФБУ ФЦАО. Москва : 2011. 39 с. Текст : непосредственный.

Р 50.2.031-2003. ГСИ. Стандартные образцы состава веществ и материалов. Методика оценивания характеристики стабильности : методика измерений / разработана УНИИМ. Москва : ИПК Издательство стандартов, 2004. 12 с. Текст : непосредственный.

РД 52.18.289-90. Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом : методика измерений / разработана Государственный комитетом СССР по гидрометеорологии. Москва : 1990. 36 с. Текст : непосредственный.

РД 52.18.718-2008 Организация и порядок проведения наблюдений за загрязнением почв токсикантами промышленного происхождения : методика измерений / разработана ГУ НПО Тайфун. Обнинск : 2008. 77 с.

СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 №2: Зарегистрировано в Минюсте России 29 января 2021 г. № 62296. Москва. 469 с.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Ступакова Галина Алексеевна** – кандидат биологических наук, заведующая лабораторией метрологического обеспечения агроэкологического мониторинга ФГБНУ «ВНИИ агрохимии».

127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31а

e-mail: [vniiia@list.ru](mailto:vniiia@list.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-2846-497X>

**Игнатьева Елена Эдуардовна** – старший научный сотрудник лаборатории метрологического обеспечения агроэкологического мониторинга ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»

127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31а

e-mail: [ignatieva.elena@mail.ru](mailto:ignatieva.elena@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-5585-2302>

**Щиплецова Татьяна Ивановна** – старший научный сотрудник лаборатории метрологического обеспечения агроэкологического мониторинга ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»

127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31а

e-mail: [vniiia.msi@mail.ru](mailto:vniiia.msi@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0001-7996-3069>

**Митрофанов Дмитрий Константинович** – старший научный сотрудник лаборатории метрологического обеспечения агроэкологического мониторинга ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»

127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31а

e-mail: [kot9pa\\_08@mail.ru](mailto:kot9pa_08@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0003-0119-8832>

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Galina A. Stupakova** – Cand. Sci. (Biology), Head of the Laboratory for Metrological Support of Agroecological Monitoring, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry (VNI Agrochemistry). 31a Pryanishnikova St., Moscow, 127434, Russia

e-mail: [vniiia@list.ru](mailto:vniiia@list.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-2846-497X>

**Elena E. Ignatieva** – Senior Researcher of the Laboratory for Metrological Support of Agroecological Monitoring, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry (VNI Agrochemistry). 31a Pryanishnikova St., Moscow, 127434, Russia

e-mail: [ignatieva.elena@mail.ru](mailto:ignatieva.elena@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-5585-2302>

**Tatyana I. Shchিপletsova** – Senior Researcher of the Laboratory for Metrological Support of Agroecological Monitoring, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry (VNI Agrochemistry). 31a Pryanishnikova St., Moscow, 127434, Russia

e-mail: [vniiia.msi@mail.ru](mailto:vniiia.msi@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0001-7996-3069>

**Dmitry K. Mitrofanov** – Senior Researcher of the Laboratory for Metrological Support of Agroecological Monitoring, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry (VNI Agrochemistry). 31a Pryanishnikova St., Moscow, 127434, Russia

e-mail: [kot9pa\\_08@mail.ru](mailto:kot9pa_08@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0003-0119-8832>