

16. Савин, И. Ю. О тоне изображения открытой поверхности почв как прямым дешифровочным признаке / И. Ю. Савин // Бюллетень почвенного института им. В. В. Докучаева. – 2013. – № 71. – С. 52–64.

## **CHANGES IN THE STRUCTURE OF THE SOIL COVER OF DRAINED LANDS OF THE SOUTHERN SOIL-ECOLOGICAL PROVINCE OF BELARUS AS A RESULT OF AGRICULTURAL ACTIVITIES**

**A. L. Kindeev, V. B. Tsyribko, I. A. Lahachou,  
H. M. Ustsinava, A. A. Bianco**

### **Summary**

This article presents the results of a study of the soil cover structure of drained lands at two study sites, demonstrating a significant impact of agricultural intensity on peat soil degradation. It has been established that at site 1, with preferential meadow land use, peat depletion occurred on 11,2 hectares (60,3 % of the area) over a 30-year period. At site 2, with intensive arable land use, mineralization and depletion of the peat horizon occurs, resulting in a fivefold decrease in organic matter in peat-gley soils. Analysis of morphometric parameters of the soil cover structure revealed an increase in the complexity and heterogeneity coefficients at site 2 from optimal to acceptable (from 0,38 to 1,83 and from 0,86 to 3,55, respectively). Using Sentinel-2 multispectral images for soil cover mapping, a relationship between organic matter and near-infrared radiance was confirmed, expressed through a power function with a determination coefficient of 0,59 and a correlation ratio of 0,77.

*Поступила 26.11.25*

УДК 631.4:528.94

## **КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ И АГРОНОМИЧЕСКОЙ ПРИГОДНОСТИ ПОЧВ ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

**М. Е. Гуляй, В. Б. Цырибко, Ф. С. Гутько**

*Институт почвоведения и агрохимии,  
г. Минск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Исследования, проведенные в республике, свидетельствуют, что выработка направлений наиболее эффективного использования почвенно-земельных ресурсов, обоснования видов и объемов защитных мероприятий должны быть адаптированы к компонентному составу почвенного покрова, степени его загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , а также к технологиям возделывания сельскохозяйственных

культур – на пищевые и кормовые цели с допустимыми уровнями содержания радионуклидов, основанных на количественных показателях миграционной подвижности радионуклидов в агроэкосистемах [1, 2].

Следует отметить, что одним из востребованных направлений в агропочвоведении является разработка систем поддержки принятия решений в сельскохозяйственном производстве на основе экспертных геоинформационных систем (ГИС) с использованием цифровых технологий. В республике неоднократно предпринимались попытки создания специализированных ГИС для целей информационного обеспечения растениеводства. Однако некоторые из данных систем имеют узкую направленность, позволяя решать ограниченный набор задач, а некоторые из них выполнены в виде полностью разработанного под данное решение программного обеспечения (ПО) [3]. В то же время в Институте почвоведения и агрохимии [4] был выбран вектор на разработку систем, имеющих возможность взаимной интеграции данных с современными программными пакетами ГИС универсального назначения [5, 6], и была разработана методологическая основа их создания [4, 7].

В связи с этим актуальной задачей является перевод накопленного массива данных о состоянии почвенного покрова загрязненных радионуклидами земель, в цифровой формат и оптимизация обработки этих данных. Также необходимо соединение в единую геоинформационную систему базы данных количественных характеристик почвенного покрова [7, 8] и автоматизация обработки этих данных на основе базы знаний, а именно, накопленных научных и практических результатов, рекомендаций по агротехнологиям возделывания сельскохозяйственных культур, радиологической и агрономической пригодности почв под различные сельскохозяйственные культуры в зависимости от генезиса, уровней плодородия и плотности радиоактивного загрязнения [4].

Цель исследований состоит в разработке комплекса автоматизированного расчета радиологической и агрономической пригодности почв для возделывания сельскохозяйственных культур, который является основополагающей частью экспертной геоинформационной системы по управлению почвенно-земельными ресурсами на территории радиоактивного загрязнения на основе цифровых почвенных карт различного масштаба.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объекта для оценки пригодности почв было выбрано КСУП «Оборона» Добрушского района Гомельской области. Почвенный покров земель хозяйства представлен дерново-подзолистыми автоморфными и заболоченными, дерновыми глеевыми супесчаными и песчаными, а также торфяно-болотными, аллювиальными дерновыми заболоченными и деградаторфяными разновидностями. На территории хозяйства присутствуют земли, загрязненные радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

Источником информации о допустимых концентрациях радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  и агрономической пригодности почвенных разновидностей являются «Рекомендации по оптимизации возделывания сельскохозяйственных культур в почвенно-радиоэкологических условиях Гомельской и Могилевской областей» [9].

Средой для разработки и реализации автоматизированного расчета радиологической и агрономической пригодности почв для возделывания сельскохозяйственных культур выбраны язык программирования Python 3 [10] с библиотекой ArcPy и ГИС ArcGIS Pro [5] соответственно.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований разработан комплекс автоматизированного расчета радиологической и агрономической пригодности почв элементарных участков исследуемого хозяйства для возделывания сельскохозяйственных культур.

Для пользователя комплекс автоматизированного расчета выглядит как открываемый через панель каталога ArcGIS Pro набор инструментов под названием RadioAgroSuitability, имеющий 19 инструментов для расчета пригодности: 18 для каждой культуры в отдельности и один, делающий расчеты сразу для всех культур (рис. 1).

Для каждого инструмента требуется указать:

- входной класс пространственных объектов или шейп-файл (feature class, shape), содержащий в своей атрибутивной таблице необходимые данные;

- директорию базы данных, куда будут сохранены результаты геоинформационного анализа;

- расположение файл слоя

Legend, необходимого для символизации слоев с картограммами пригодности;

- поля атрибутивной таблицы входного класса или шейп-файла с соответствующей информацией об элементарных участках.

Отдельно стоит отметить возможность фильтра элементарных участков: если среди обрабатываемых пространственных объектов нужно отсеять участки по принципу «белого списка» (например: нужно рассчитать пригодность только для участков, являющихся пахотными), то в меню необходимо отметить галочкой пункт Whitelist-фильтр, указать атрибутивное поле и значения этого поля (одно или несколько), при которых будет рассчитана пригодность рабочего участка (рис. 1).

Результатом использования инструмента являются классы пространственных данных, содержащие поля с информацией о радиологической (включая отдельные

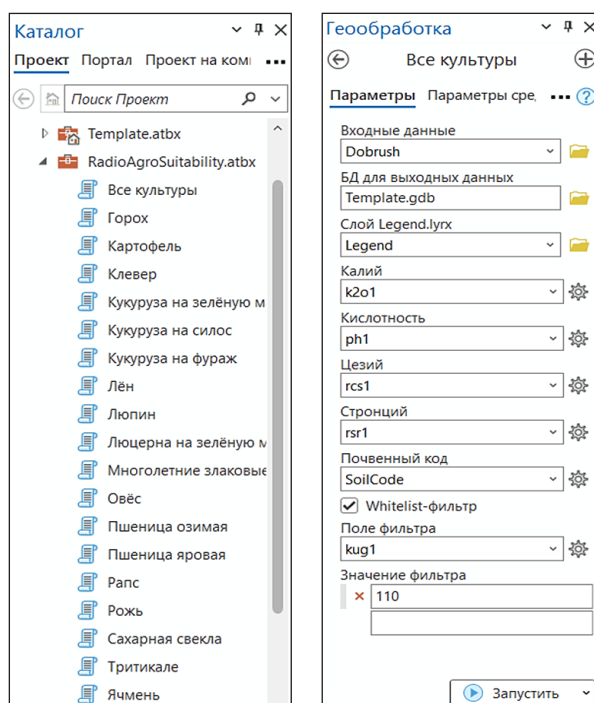


Рис. 1. Набор инструментов и параметры для расчёта пригодности почв

поля для оценки содержания изотопов цезия-137 и стронция-90), агрономической и итоговой пригодности. Символизация, отражающая пригодность участков, следующая: зеленый – пригоден, желтый – пригоден только на фуражные цели, красный – непригоден, серый – исключен фильтром (рис. 2). Результирующая таблица, содержащая экспликацию по анализируемой культуре (или всем культурам) имеет следующий вид (рис. 3).

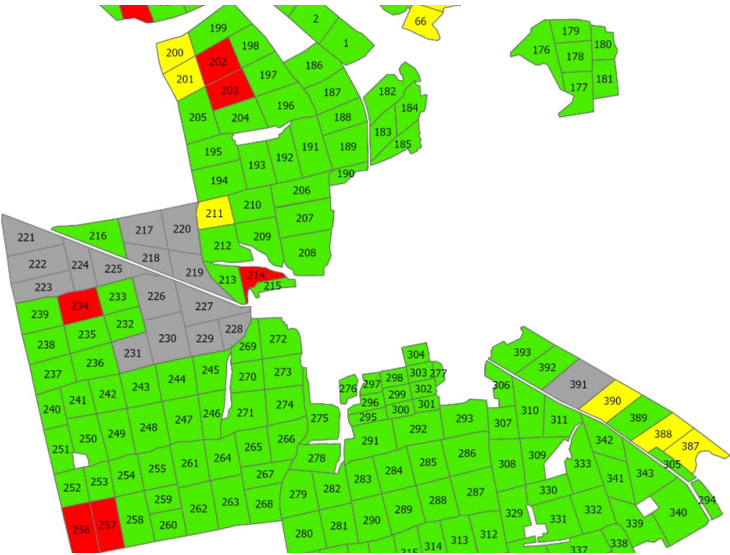


Рис. 2. Пригодность пахотных земель элементарных участков КСУП «Оборона» Добрушского района Гомельской области для возделывания озимого тритикале (фрагмент)

TotalArea

Поле:

Рис. 3. Пример таблицы с экспликацией по всем культурам

С точки зрения информационных технологий комплекс представляет собой набор скриптов, написанных на языке Python 3 с применением библиотеки ArcPy

и затем скомпонованных в пользовательский набор инструментов. Структурно в каждом скрипте (кроме скрипта для всех культур) присутствует основное тело скрипта, которое инициализирует рабочий проект, считывает входные параметры, создает копию исходного класса пространственных объектов и активирует три функции (рис. 4):

- первая работает с атрибутивной таблицей, создавая в ней вышеописанные поля с подробной информацией о пригодности каждого участка, здесь же реализован фильтр итоговой оценки (в скрипте для всех культур таких функций 18, по одной функции на каждую культуру);
- вторая загружает итоговый класс пространственных объектов в проект в качестве слоя и производит его символизацию;
- третья рассчитывает экспликацию по пригодности анализируемой территории в гектарах с точностью до десятитысячных (т. е. с точностью до 1 м<sup>2</sup>).

```
import arcpy, os, sys
arcpy.env.overwriteOutput = True

def calculat(layer, K, pH, Cs, Sr, SC, filterfield=None, filtervalue=None):

def symbolat(layer, proj, mapa):

def explicat(layer, proj, mapa):

p = arcpy.mp.ArcGISProject('current')
a_map = p.activeMap

inp_feature = arcpy.GetParameterAsText(0)
outp_folder = arcpy.GetParameterAsText(1)
lurker = arcpy.GetParameterAsText(2) #Legend.lyrx
act_K = arcpy.GetParameterAsText(3)
act_pH = arcpy.GetParameterAsText(4)
act-Cs = arcpy.GetParameterAsText(5)
act-Sr = arcpy.GetParameterAsText(6)
act-SC = arcpy.GetParameterAsText(7)
filterBool = arcpy.GetParameter(8)
act_filterfield = arcpy.GetParameterAsText(9) if filterBool else None
act_filtervalue = arcpy.GetParameterAsText(10) if filterBool else None
afv = act_filtervalue.split(';') if act_filtervalue else None

outp_feature = os.path.join(outp_folder, "Tri")
arcpy.CopyFeatures_management(inp_feature, outp_feature)
pole = arcpy.MakeFeatureLayer_management(outp_feature, 'Tri').getOutput(0)

calculat(pole, act_K, act_pH, act-Cs, act-Sr, act-SC, act_filterfield, afv)
symbolat(pole, p, a_map)
explicat(pole, p, a_map)
```

Рис. 4. Структура программного кода инструмента

Апробация разработанного комплекса на территории КСУП «Оборона» Добрушского района позволяет произвести оценку пригодности почв элементарных участков хозяйства. Поскольку наиболее актуальна информация о пригодности почв для пахотных земель, расчеты выполнены с использованием Whitelist-фильтра для отсеивания непахотных участков.

Расчеты пригодности почвенного покрова выполнены для основных озимых и яровых зерновых, зернобобовых и ряда кормовых культур.

Так, удельный вес пригодных для возделывания озимой пшеницы на пищевые и кормовые цели пахотных земель составляет 65,5 %, только на кормовые – 6,1, а непригодных для ее возделывания – 28,4 % (табл. 1). Ограничение возделывания озимой пшеницы обусловлено в первую очередь агрономической

непригодностью дерново-подзолистых песчаных почв для выращивания данной культуры.

Таблица 1

**Удельный вес пригодных пахотных земель КСУП «Оборона» Добрушского района для возделывания озимой пшеницы, %**

Пригодность	Удельный вес, %
На пищевые и кормовые цели	65,5
Только на кормовые цели	6,1
Непригодные	28,4

Возделывание озимой ржи практически неограниченно на пахотных землях исследуемого землепользования (табл. 2). Ограничение на 18,0 % земель возделывания озимой ржи на пищевые цели обусловлено плотностью загрязнения радионуклидами стронция-90.

Таблица 2

**Удельный вес пригодных пахотных земель КСУП «Оборона» Добрушского района для возделывания озимой ржи, %**

Пригодность	Удельный вес, %
На пищевые и кормовые цели	82,0
Только на кормовые цели	18,0
Непригодные	0,0

Озимая тритикале может размещаться без ограничений на 82 % площади хозяйства, только на кормовые цели – на 10 % (табл. 3). Дерново-подзолистые автоморфные песчаные почвы, площадь которых составляет 8 %, непригодны для возделывания данной культуры.

Таблица 3

**Удельный вес пригодных пахотных земель КСУП «Оборона» Добрушского района для возделывания озимой тритикале, %**

Пригодность	Удельный вес
На пищевые и кормовые цели	82,0
Только на кормовые цели	10,0
Непригодные	8,0

Яровые зерновые имеют некоторые ограничения по возделыванию на территории землепользования. Наименьшая доля непригодных почв характерна для овса – 1,1 % (ограничение по загрязнению стронцием-90), наибольшая – для яровой пшеницы – 11,8 % (агрономическая непригодность) (табл. 4).

Таблица 4

**Удельный вес пригодных пахотных земель КСУП «Оборона» Добрушского района для возделывания яровых зерновых, %**

Культура	Пригодность	Удельный вес, %
Яровая пшеница	На пищевые и кормовые цели	72,3
	Только на кормовые цели	15,9
	Непригодные	11,8



Окончание табл. 4

Культура	Пригодность	Удельный вес, %
Ячмень	На пищевые и кормовые цели	63,7
	Только на кормовые цели	26,1
	Непригодные	10,2
Овес	На пищевые и кормовые цели	72,9
	Только на кормовые цели	25,9
	Непригодные	1,1

Наибольшие радиологические ограничения характерны для зернобобовых культур (табл. 5). Непригодными являются 18–30 % пахотных земель.

Таблица 5

**Удельный вес пригодных пахотных земель КСУП «Оборона» Добрушского района для возделывания гороха и люпина, %**

Культура	Пригодность	Удельный вес, %
Горох	На пищевые и кормовые цели	17,7
	Только на кормовые	64,2
	Непригодные	18,1
Люпин	Только на кормовые	70,3
	Непригодные	29,7

Возделывание кормовых культур также имеет ряд ограничений на территории хозяйства (табл. 6). Основная причина – распространение песчаных почвенных разновидностей. Однако в случае возделывания люцерны лимитирующим фактором является также и загрязнение стронцием-90. В тоже время кукурузу можно возделывать примерно на 80,0 % пашни. Следует отметить, что 20,0 % почв пахотных земель имеют низкое содержание подвижного калия. Для таких почв не установлены коэффициенты перехода для данной культуры, поэтому данные участки отнесены в непригодные.

Таблица 6

**Удельный вес пригодных пахотных земель КСУП «Оборона» Добрушского района для возделывания кормовых культур, %**

Культура	Пригодность	Удельный вес, %
Кукуруза на зерно	Пригодные	79,8
	Непригодные	20,2
Кукуруза на силос	Пригодные	80,8
	Непригодные	19,2
Многолетние злаковые травы на сено	Пригодные	92,0
	Непригодные	8,0
Люцерна на зеленую массу	Пригодные	74,3
	Непригодные	25,7

Таким образом, комплекс расчета позволяет в автоматизированном режиме создавать картограммы пригодности элементарных участков для возделывания конкретных сельскохозяйственных культур и рассчитать суммарные площади участков с различной пригодностью с учетом почвенного покрова, радиологичес-

ких условий и агрономической пригодности почв, что позволяет на более высоком уровне планировать и осуществлять ведение растениеводства на сельскохозяйственных землях, пострадавших от аварии на ЧАЭС.

## ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований разработан комплекс автоматизированного расчета радиологической и агрономической пригодности почв, который апробирован на примере КСУП «Оборона» Добрушского района Гомельской области. Геостатистический анализ показал, что структура почвенного покрова и уровень радиоактивного загрязнения затрудняют ведение растениеводства на территории данного землепользования. Наиболее ограничено возделывание гороха: доля пригодных пахотных земель при возделывании данной культуры на пищевые и кормовые цели составляет 17,7 %, только на кормовые – 64,2 %, а непригодных – 18,1 %.

Возделывание озимых и яровых зерновых преимущественно ограничивается агрономической пригодностью почв, за исключением овса, для которого лимитирующим фактором является загрязнение стронцием-90.

Среди кормовых культур наибольшие площади непригодных пахотных земель характерны для люпина (29,7 %) и люцерны (25,7 %). В то же время возделывание многолетних злаковых трав практически неограниченно.

Комплекс автоматизированного расчета радиологической и агрономической пригодности почв для возделывания сельскохозяйственных культур позволяет кардинально ускорить процесс обработки данных и увеличить ее точность. В перспективе этот комплекс и аналогичные разработки (например, балльный расчет агрономической пригодности) могут лечь в основу системы поддержки принятия решений при ведении сельского хозяйства, в том числе в районах, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богдевич, И. М. Итоги и перспективы оптимизации агрохимических показателей плодородия пахотных почв Беларуси / И. М. Богдевич // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2023. – Т. 61. – № 1. – С. 22–33. – DOI: 10.29235/1817-7204-2023-61-1-22-33.

2. Bogdevitch, I. Fertilization as a remediation measure on soils contaminated with radionuclides  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  / I. Bogdevitch, N. Mikhailouskaya, V. Mikulich // Fertilizing crops to improve human health: a scientific review / Intern. Plant Nutrition Inst., Intern. Fertilizer Industry Assoc.; ed.: T. W. Bruulsema [et al.]. – Paris, 2012. – Vol. 3: Risk reduction. – P. 275–290.

3. Лаборатория агроэкологии и массовых анализов [Электронный ресурс] // Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт радиобиологии»: [сайт]. – Мн., 2024–2025. – URL: <https://www.irb.basnet.by/ru/struktura-organizacii/otdel-kachestva-okruzhayushhej-sredy-i-produktov-pitaniya/laboratoriya-agroekologii-i-massovykh-analizov> (дата обращения: 20.11.2025).

4. Лапа, В. В. Специализированные информационные системы в сельскохозяйственном производстве Республики Беларусь / В. В. Лапа, Д. В. Матыченков, Т. Н. Азаренок [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 2(91). – С. 7–13.



5. ArcGIS Pro (версия 3.1.5) [сайт] / Esri. – URL: <https://pro.arcgis.com> (дата обращения: 16.11.2025).
6. QGIS Geographic Information System [Electronic resource] / QGIS Development Team. – Open Source Geospatial Foundation, 2024. – URL: <https://qgis.org> (date of access: 20.11.2025).
7. Методика создания информационной системы учета динамики и прогноза свойств отдельных компонентов почвенного покрова землепользований для наиболее экономически эффективного использования почвенных ресурсов / В. В. Лапа, Д. В. Матыченков, Т. Н. Азаренок [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Мн. : Ин-т систем. исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. – 42 с.
8. Методические указания по созданию Почвенной Информационной Системы / Г. С. Цытрон, О. В. Матыченкова, Д. В. Матыченков [и др.]. – Мн. : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2011. – 49 с.
9. Рекомендации по оптимизации возделывания сельскохозяйственных культур в почвенно-радиоэкологических условиях Гомельской и Могилевской областей / Н. Н. Цыбулько, Л. И. Шибут, В. Б. Цырибко [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Мн. : ИВЦ Минфина, 2020. – 76 с.
10. Python (версия 3.9.16) [сайт] / Python Software Foundation. – URL: <https://www.python.org> (дата обращения: 16.11.2025).

## **AUTOMATED SYSTEM FOR ASSESSING RADIOLOGICAL AND AGRONOMIC SUITABILITY OF SOILS FOR GROWING AGRICULTURAL CROPS**

**M. E. Hulyay, V. B. Tsyrybka, F. S. Hutko**

### **Summary**

The article presents an automated complex for calculating the radiological and agronomical suitability of soils for growing various crops in areas contaminated with  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$ . The complex was developed in Python 3 using the ArcPy library and implemented as a custom toolbox RadioAgroSuitability (19 tools) for ArcGIS Pro.

The tools enable the automated creation of thematic suitability cartograms and generation of area explication tables with accuracy up to 1 m. A whitelist filter is provided for selecting the plots to be analysed.

Testing was conducted on the lands of agricultural enterprise «Oborona» in Dobrush district (4562,6 ha). The main cultivation restrictions were found to be associated with the agronomical unsuitability of sandy soils and elevated  $^{90}\text{Sr}$  content. The most restricted crop is pea (only 17,7 % of arable land is suitable for food and feed purposes), while the least restricted are perennial grasses and winter rye (practically unrestricted). Significant restrictions were recorded for winter wheat (28,4 % unsuitable), lupine (29,7 %) and alfalfa (25,7 %).

The developed complex significantly accelerates data processing, improves the accuracy and objectivity of assessments, and can serve as a foundation for a decision-support system in crop rotation planning on radioactively contaminated territories.

*Поступила 26.11.25*