

Геоинформатика. 2023. № 4. С. 52–60.
Geoinformatika. 2023;(4):52–60.

Геоэкология

Научная статья
 УДК 528.952:631.95
<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-4-52-60>

Эколого-агрономическая геоинформационная система радиоактивно загрязненных угодий Тульского НИИСХ

© 2023 г. — Евгения Олеговна Кречетникова^{а)}, Виктор Владимирович Кречетников^{б)}, Владимир Константинович Кузнецов, Игорь Евгеньевич Титов

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»; Обнинск, Россия

^{а)}evg.krechet@yandex.ru, ^{б)}viktor.krechetnikov@mail.ru

Аннотация: Для введения системы адаптивно-ландшафтного земледелия на радиоактивно загрязненной территории Тульского НИИСХ разработана агрономическая ГИС в программной среде ArcGis 10.5. Для лучшей визуализации данных на основе созданных карт были построены 3D модели в программе ArcScene 10.5. При создании проекта использовалась информация о почвенных характеристиках, распределении значений удельной активности ¹³⁷Cs на сельскохозяйственных угодьях, характеристиках сельскохозяйственных участков. АгроГИС содержит электронные карты размещения сельскохозяйственных угодий; структуры севооборотов; нормативной урожайности; агрохимической окультуренности почв; рельефа; уклона и экспозиции; агрохимических показателей почв; значений поверхностной активности ¹³⁷Cs на сельскохозяйственных угодьях; рисков получения загрязненной продукции.

Созданные электронные карты содержат всю необходимую информацию для планирования адресного ведения хозяйственной деятельности исходя из характеристик агроландшафтов, почв и рельефа. Данный проект открыт для редактирования и внесения новых данных.

Ключевые слова: *адаптивно-ландшафтное земледелие, агроГИС, сельскохозяйственные угодья, радиационная безопасность, агроландшафт, векторная карта, слой*

Для цитирования: Е.О. Кречетникова, В.В. Кречетников, В.К. Кузнецов, И.Е. Титов. Эколого-агрономическая геоинформационная система радиоактивно загрязненных угодий Тульского НИИСХ // Геоинформатика. — 2023. — № 4. — С. 52–60. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-4-52-60>.

Geoecology

Original article

Ecological and agronomic geoinformation system of radioactively contaminated lands of Tula Research Institute

© 2023 — Evgeniya O. Krechetnikova^{а)}, Viktor V. Krechetnikov^{б)}, Vladimir K. Kuznetsov, Igor E. Titov

Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre "Kurchatov Institute"; Obninsk, Russia

^{а)}evg.krechet@yandex.ru, ^{б)}viktor.krechetnikov@mail.ru

Abstract: Agronomic GIS has been developed in the ArcGis 10.5 in order to introduce a system of adaptive landscape farming on the radioactively contaminated territory of the Tulsii NII. 3D models were built in the ArcScene 10.5 on the basis of electronic maps for the best visualization the data. The project was created using information of soil characteristics, distribution of specific activity values for artificial ¹³⁷Cs radionuclide in agricultural lands; characteristics of agricultural lands. AgroGIS contains electronic maps of the location of agricultural areas; structures of crop rotations; standard productivity; agrochemical cultivation of soils; relief; bias and exposition; agrochemical indexes of soils; surface activity values of ¹³⁷Cs on agricultural land; risks of obtaining contaminated products.

The electronic maps contain all the necessary information for planning agricultural production. It based on the characteristics of agrolandscapes, soils and relief. Users can edit and enter data in this project.

Key words: *adaptive landscape farming, agroGIS, agricultural lands, radiation safety, agrolandscape, vector map, layer*

For citation: Krechetnikova E.O., Krechetnikov V.V., Kuznetsov V.K., Titov I.E. Ecological and agronomic geoinformation system of radioactively contaminated lands of Tula Research Institute. *Geoinformatika*. 2023;(4):52–60. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-4-52-60>. In Russ.

Введение

Авария на Чернобыльской АЭС стала причиной радиоактивного загрязнения 21 субъекта Российской Федерации, относящихся к регионам с интенсивным ведением сельскохозяйственного производства. Особенности аварийной ситуации и погодные условия в период радиоактивных выпадений привели к неравномерности радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных угодий. В связи с этим была предложена система ведения агропромышленного производства, основанная на принципах адаптивно-ландшафтного земледелия, которая предусматривает проведение комплекса мероприятий по ограничению перехода радионуклидов в продукцию и разработку структуры размещения отдельных отраслей производства в зависимости от уровня радиоактивного загрязнения [1, 10].

Отличительной особенностью адаптивно-ландшафтных систем земледелия является их инкорпорированность в определенный однородный по природным условиям природно-территориальный комплекс, выделенный по совокупности ведущих агроэкологических факторов, который называется агроландшафтом. Для каждого агроландшафта адресно разрабатывается весь комплекс организационных, агротехнических, агрохимических и других систем мероприятий по возделыванию определенных групп или видов сельскохозяйственных культур. При этом природно-хозяйственные и агроклиматические условия агроландшафтов являются максимально однородными и полностью соответствуют требованиям определенных видов и групп сельскохозяйственных культур [6, 7, 8, 9].

Информация о характеристиках агроландшафтов имеет пространственную привязку, поэтому географические информационные системы являются наиболее эффективным средством ее обработки и визуализации. ГИС дает возможность осуществлять типизацию сельскохозяйственных земель в соответствии с задаваемыми критериями, что позволяет лицам, принимающим решения, в реальном времени получать информацию для оценки правильности выбранных стратегий ведения сельскохозяйственного производства по конкретным территориям и эффективности проведенных агромероприятий.

Для проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия на радиоактивно загрязненных землях Тульского НИИСХ нами была разработана агрономическая ГИС (агроГИС). При создании ГИС проекта была проведена векторизация карты Тульского НИИСХ в программной среде EasyTrace 11 с бумажного носителя (карта «Разр. АПК № 02/50 от 20.06.89 Картфилиал Росземпроекта» масштаба 1:25 000) и внесена соответствующая пространственно-ориентированная атрибутивная информация о структуре севооборотов и расположении

элементарных участков [12]. Информация об административно-хозяйственной характеристике и рельефе взята с топографической карты масштаба 1:500 000. Информация о плотности загрязнения ^{137}Cs за разные года, агрохимических показателях, проведенных агротехнических мероприятиях, типах почвы и ее механическом составе, подстилающих и почвообразующих породах взята из базы данных, предоставленной ФГБУ «Центр химизации и сельскохозяйственной радиологии «Тульский».

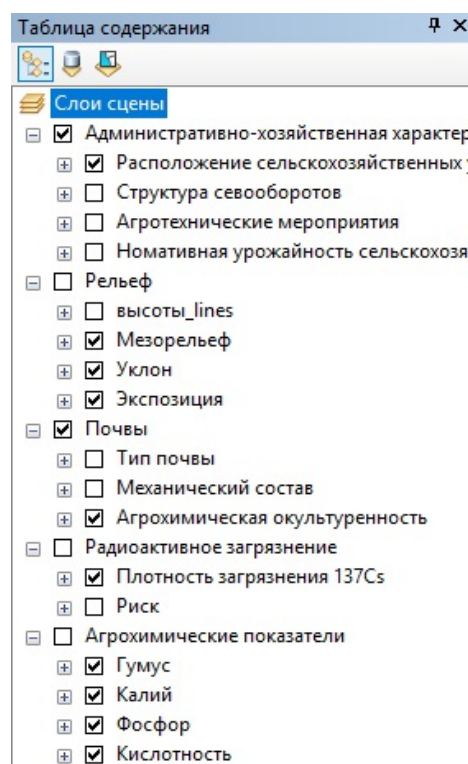
Созданные векторные карты в дальнейшем обрабатывались в среде ArcMap 10.5, входящей в состав пакета ArcGis. Проект открыт для внесения новых и редактирования существующих данных в случае необходимости. Все географические данные приведены к единой системе координат — WGS84. Для создания трехмерных моделей использовалась ArcScene 10.5.

Структура АгроГИС

Агрономическая ГИС представляет собой многослойную электронную карту хозяйства и атрибутивную базу данных истории полей с учетом всех выполненных агротехнических мероприятий. АгроГИС включает следующие блоки информации: первый блок — административно-хозяйственная характеристика участков и полей севооборотов; второй блок — рельеф; третий блок — почвы; четвертый блок — радиоактивное загрязнение; пятый блок — агрохимические показатели (рис. 1).

Рис. 1. Блоки информации в таблице содержания

Fig. 1. Blocks of information in the table of contents



Первый блок представлен слоями: «Расположение сельскохозяйственных участков»; «Структура севооборотов»; «Агротехнические мероприятия»; «Нормативная урожайность сельскохозяйственных культур». Слой «Расположение сельскохозяйственных угодий» создан посредством оцифровки топологических картооснов, взятых из программной среды SASPlanet. В качестве основ были взяты штабные карты 1998 г. и современные топологические карты. В нем отображаются основные пути сообщения, границы административных единиц, а также находящиеся в непосредственной близости населенные пункты, расположение сельскохозяйственных угодий, номера полей и элементарных участков. Слои «Структура севооборотов» и «Агротехнические мероприятия» созданы на основе картосхем сельскохозяйственных полей с обозначением севооборотов и проведенных на них агротехнических мероприятий. Слой «Нормативная урожайность сельскохозяйственных культур» создан на основе расчетных данных, полученных в соответствии с установленной методикой оценки нормативной урожайности, изложенной в «Правилах проведения государственной кадастровой оценки земель» (рис. 2). Она определяет потенциально ожидаемый объем урожая (ц/га) [5].

Второй блок включает в себя растровые слои: «Мезорельеф»; «Крутизна склонов»; «Экспозиция склонов». Слой «Мезорельеф» создан на основе

оцифрованных изолиний высот и точек абсолютной высоты (рис. 3). Условные обозначения представлены шкалой высот со значениями высоты в метрах над уровнем моря. Отмывка рельефа проводилась методом Кригинга, который позволяет строить предполагаемую поверхность из набора точек с z-значениями. В отличие от других методов интерполяции в среде ArcMap, инструмент Кригинг предполагает интерактивное исследование пространственного поведения явления, представленного z-значениями, до выбора оптимального метода оценки для построения результирующей поверхности. Он основывается на статистических моделях, включающих анализ автокорреляции (статистических отношений между измеренными точками) и включает поисковый статистический анализ данных, моделирование вариограммы, создание поверхности и (дополнительно) изучение поверхности дисперсии [13, 15]. Слой «Крутизна склонов» создан с использованием инструмента «Уклон» среды ArcGis, который для каждой ячейки вычисляет максимальную степень изменения в значении z между конкретной ячейкой и соседними с ней ячейками (рис. 3). По сути, максимальная степень изменения в значениях высоты на единицу расстояния между ячейкой и восемью соседними с ней ячейками определяет самый крутой спуск вниз по склону из ячейки. Уклон поверхности представлен в градусах [14]. Слой «Экспозиция склонов» создан с помощью инструмента «Экспозиция», ко-

Рис. 2. Фрагмент трехмерной модели электронной карты «Нормативная урожайность сельскохозяйственных культур»

Fig. 2. Fragment of the 3D-model of an electronic map "Regulatory crop yields"

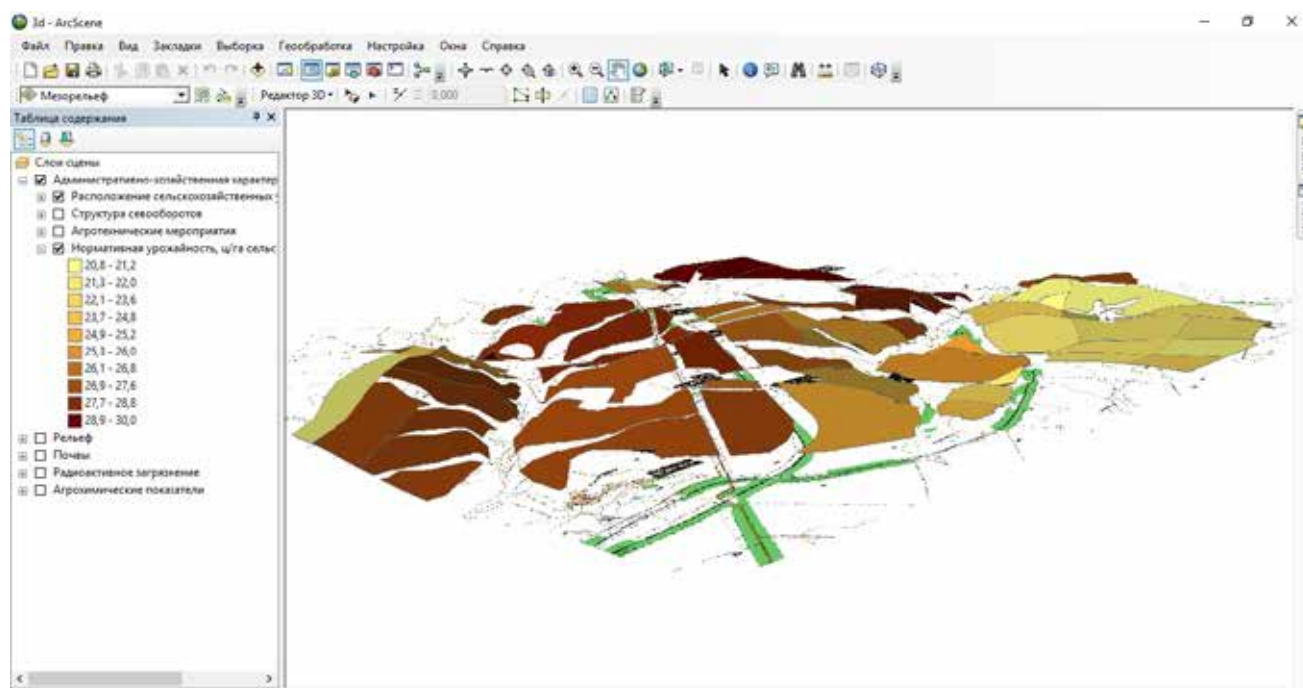


Рис. 3. Фрагмент трехмерной модели электронной карты «Уклон»

Fig. 3. Fragment of the 3D-model of an electronic map "Slope"

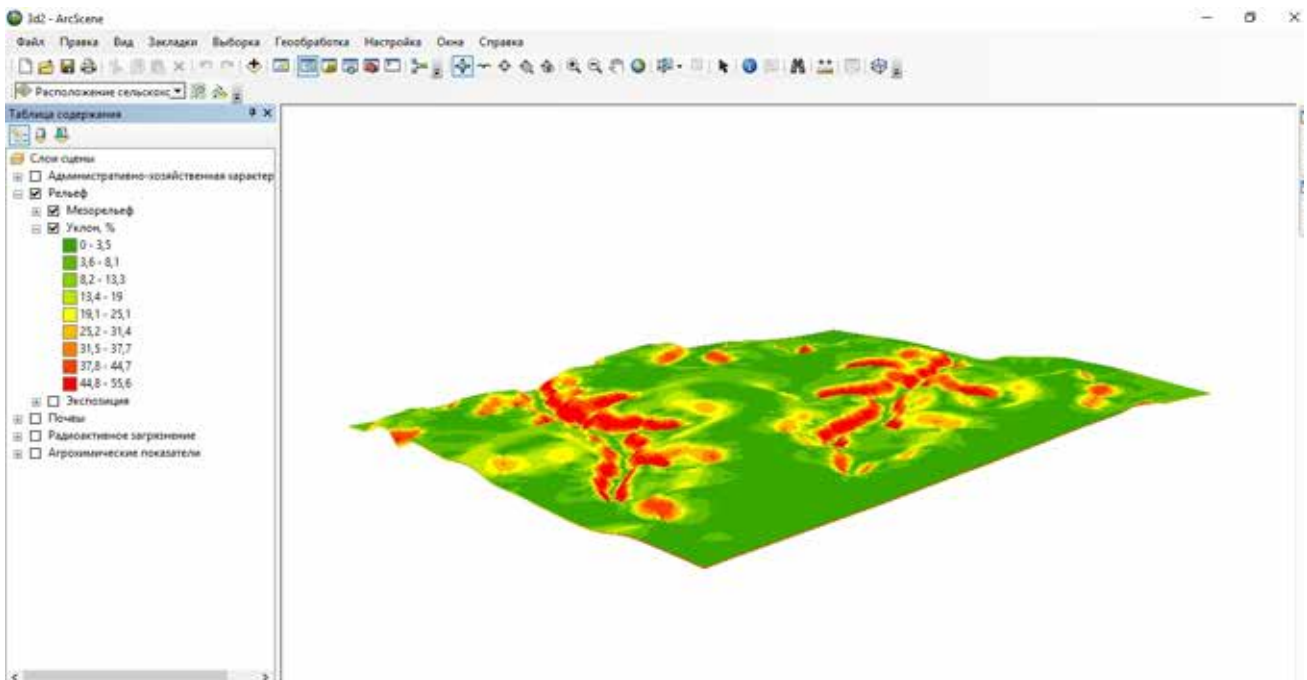
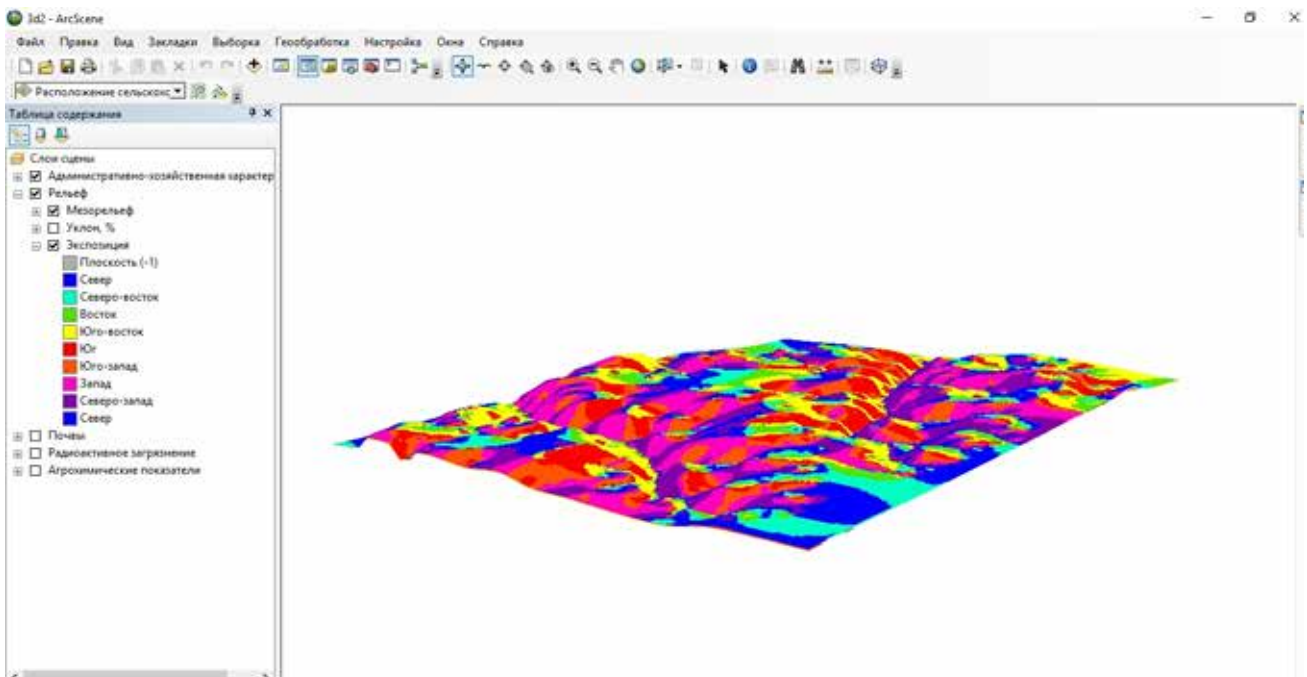


Рис. 4. Фрагмент трехмерной модели электронной карты «Экспозиция»

Fig. 4. Fragment of the 3D-model of an electronic map "Exposition"



торый устанавливает направление уклона по изменению значений ячеек (рис. 4). Ее можно рассматривать как направление уклона по компасу [14].

Третий блок состоит из слоев: «Почвообразующие и подстилающие породы»; «Механический состав»; «Агрохимическая окультуренность». Слои «Почвообразующие и подстилающие породы» и «Механический состав» визуализируют информацию о почвенном покрове элементарных участков сельскохозяйственных территорий, полученной с бумажных почвенных карт. Слой «Агрохимическая окультуренность» построен по расчетным данным, определяющим индекс агрохимической окультуренности ($I_{ок}$). Данный индекс рассчитывается согласно методу Т.Н. Кулаковской. Он отражает степень соответствия почвы требованиям сельскохозяйственных культур [9, 11]. Для отображения выделено 4 основных группы окультуренности почвы: очень низкая степень окультуренности ($I_{ок} < 0,4$), низкая (0,41–0,60), среднеокультуренные (0,61–0,80), и высокоокультуренные (0,81–1,0) почвы (рис. 5).

Четвертый блок объединяет слои «Плотность загрязнения ^{137}Cs » и «Риск». Слой «Плотность загрязнения ^{137}Cs » отображает информацию о загрязнении сельскохозяйственных участков за разные годы наблюдений. В нем представлены данные собранные в результате проведенных туров радиологического обследования за 1994, 2007, 2010 гг, а также расчетные данные на последние восемь лет,

включая 2020 г. Расчет плотности загрязнения проводился согласно закону естественного радиоактивного распада. Слой «Риск» отображает территории, на которых возможно получение продукции, не удовлетворяющей санитарно-эпидемиологическим нормативам и требованиям Ветеринарных правил [2, 3, 4]. Расчет проводился, основываясь на коэффициентах перехода, плотности загрязнения, типах почв и механического состава почв, а также исходя из количества обменного калия в почве (рис. 6).

Пятый блок группирует слои, представляющие информацию об агрохимических показателях почв сельскохозяйственных угодий: «Гумус», «Калий», «Фосфор», «Кислотность». В этом блоке визуализируется информация, полученная из баз данных агрохимического обследования сельскохозяйственных территорий (рис. 7). Собранная атрибутивная информация используется слоями «Нормативная урожайность сельскохозяйственных культур», «Агрохимическая окультуренность» и «Риск» для расчетов отображаемых ими величин.

АгроГИС объединяет огромный массив данных о характеристиках сельскохозяйственных земель, необходимых для управления сельхозпредприятием, производящим продукцию растениеводства на угодьях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС. Средства анализа позволяют выполнять пространственные

Рис. 5. Фрагмент трехмерной модели электронной карты «Агрохимическая окультуренность»

Fig. 5. Fragment of a three-dimensional model of an electronic map "Agrochemical cultivation"

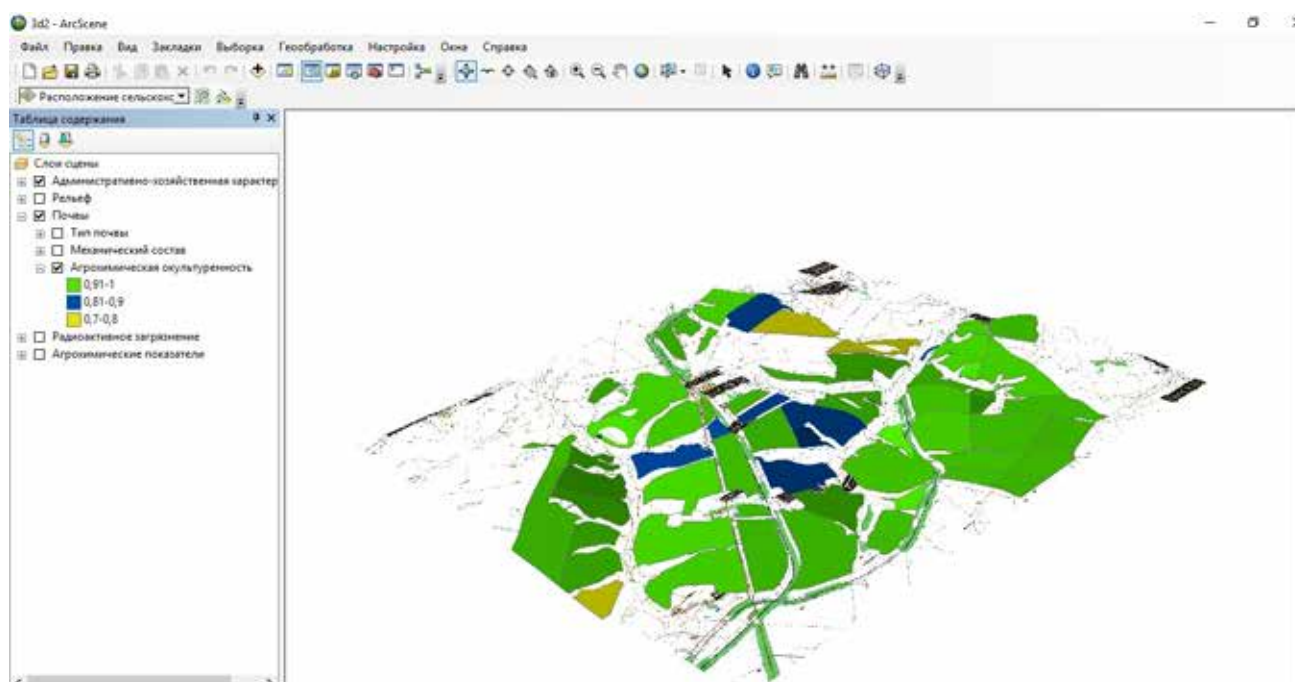


Рис. 6. Сфрагмент трехмерной модели электронной карты «Плотность загрязнения ¹³⁷Cs»
 Fig. 6. Fragment of the 3D-model of an electronic map ¹³⁷Cs Pollution Density"

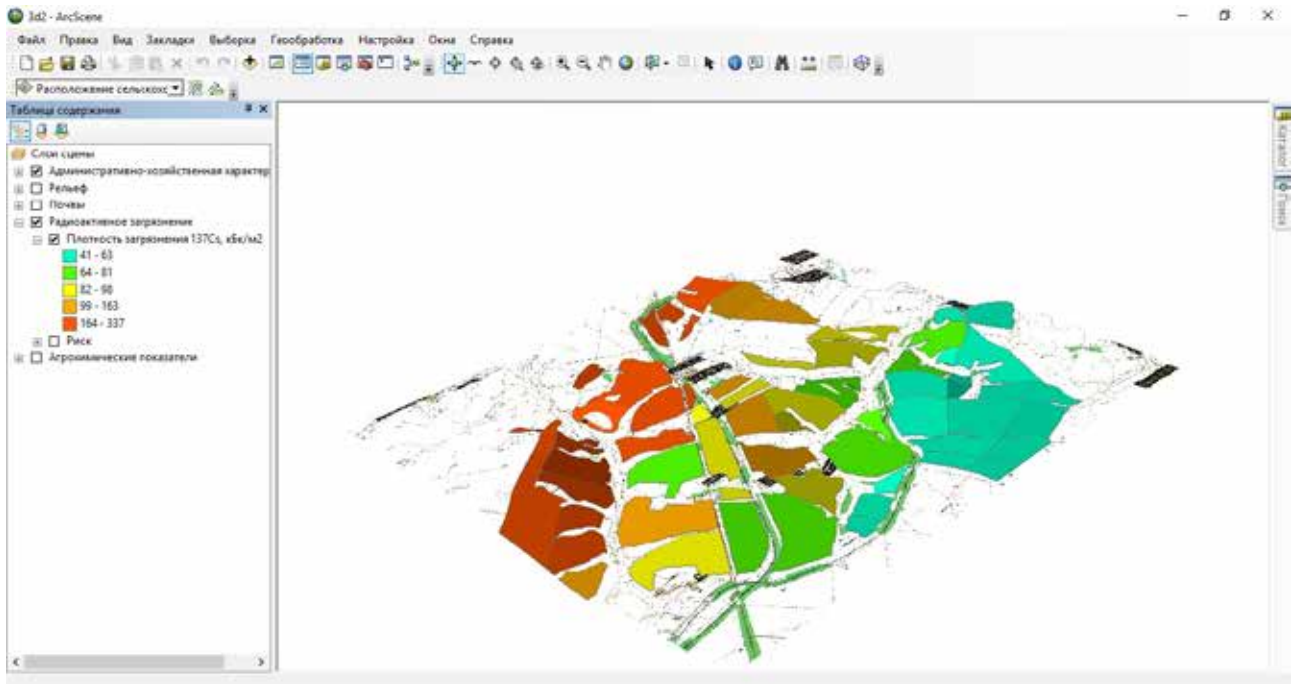


Рис. 7. Таблица атрибутивных данных слоя «Гумус»
 Fig. 7. Layer attribute data of the table «Humus»

№	Страна	Площадь	Сельхоз	Уклон	Почва	Средняя	Средняя	Кислот	Кислот	Фосфор	Средняя	тип	весов	Уклон	Средняя
1	Россия	1	1	1	112	111	70	2	1	2	5.2	серые выщелоченные	средней	21.2	0
2	Россия	1	1	2	109	106	74	1	1	2	5.3	серые выщелоченные	средней	21.2	0
3	Россия	1	1	3	47	296	100	2	1	2	6.4	серые выщелоченные	средней	21.5	0
4	Россия	1	1	4	70	268	180	1	1	2	6.3	серые выщелоченные	средней	21.2	0
5	Россия	1	1	5	60	288	204	2	1	2	6.4	серые выщелоченные	средней	24.8	0
6	Россия	1	1	6	26	298	204	2	1	2	6.8	серые выщелоченные	средней	21.2	0
7	Россия	1	2	1	92	377	190	2	1	3	6.8	серые выщелоченные	средней	27.2	0
8	Россия	1	2	2	19	277	190	2	1	1	6.8	серые выщелоченные	средней	27.2	0
9	Россия	1	2	3	15	279	190	2	1	1	6.8	серые выщелоченные	средней	26.4	0
10	Россия	1	2	4	43	337	337	2	1	2	5.8	серые выщелоченные	средней	23.2	0
11	Россия	1	2	5	38	367	237	2	1	2	6.8	серые выщелоченные	средней	26.8	0
12	Россия	1	2	6	141	186	93	1	2	3	7.8	серые выщелоченные	средней	26.8	0
13	Россия	1	4	2	103	152	88	1	2	2	6.3	серые выщелоченные	средней	25.2	0
14	Россия	1	4	3	102	218	118	1	2	3	6.8	серые выщелоченные	средней	26.4	0
15	Россия	1	5	1	103	32	52	1	1	1	5.8	серые выщелоченные	средней	23.6	0
16	Россия	1	5	2	77	118	58	1	1	1	6.8	серые выщелоченные	средней	21.2	0
17	Россия	2	1	1	120	242	185	2	1	3	6.8	серые выщелоченные	средней	21.2	0
18	Россия	2	1	2	90	229	124	3	3	3	6.8	серые выщелоченные	средней	27.8	0
19	Россия	2	1	3	60	229	185	3	1	2	6.8	серые выщелоченные	средней	27.8	0
20	Россия	2	1	4	30	211	185	2	1	2	6.8	серые выщелоченные	средней	27.2	0
21	Россия	2	2	1	286	279	192	2	1	3	7.8	серые выщелоченные	средней	26.2	0
22	Россия	2	2	2	105	155	96	1	1	3	7.8	серые выщелоченные	средней	26.4	0
23	Россия	2	2	3	36	182	88	2	1	3	6.8	серые выщелоченные	средней	27.2	0
24	Россия	2	2	4	118	118	81	1	1	1	6.8	серые выщелоченные	средней	26.8	0
25	Россия	2	2	5	27	112	74	1	1	1	6.4	серые выщелоченные	средней	26.8	0
26	Россия	2	2	6	98	89	48	1	1	1	6.8	серые выщелоченные	средней	26	0
27	Россия	2	2	7	62	111	58	2	1	1	5.4	серые выщелоченные	средней	21.8	0
28	Россия	2	2	8	36	96	58	2	1	1	5.4	серые выщелоченные	средней	22	0
29	Россия	2	2	9	98	115	60	3	1	2	6.8	серые выщелоченные	средней	27.2	0
30	Россия	2	2	10	17	199	95	2	1	2	6.7	серые выщелоченные	средней	26.8	0
31	Россия	2	2	11	103	173	81	2	1	1	6.8	серые выщелоченные	средней	21.2	0
32	Россия	2	2	12	108	281	102	2	2	3	7.4	серые выщелоченные	средней	29.8	0
33	Россия	2	2	13	120	185	78	2	1	3	6.8	серые выщелоченные	средней	27.2	0
34	Россия	2	2	14	85	118	80	2	1	3	6.8	серые выщелоченные	средней	24.4	0
35	Россия	2	2	15	18	190	82	2	1	1	6.4	серые выщелоченные	средней	24.8	0
36	Россия	2	2	16	37	92	58	2	1	1	6.8	серые выщелоченные	средней	23.2	0
37	Россия	2	2	17	26	100	41	1	1	2	5.4	серые выщелоченные	средней	21.8	0
38	Россия	2	2	18	78	98	62	2	1	2	5.4	серые выщелоченные	средней	21.8	0
39	Россия	2	2	19	104	107	48	2	1	2	5.4	серые выщелоченные	средней	21.8	0
40	Россия	2	2	20	129	170	122	2	1	2	6.8	серые выщелоченные	средней	27.2	0
41	Россия	2	2	21	121	218	78	2	1	2	6.8	серые выщелоченные	средней	21.8	0
42	Россия	2	2	22	142	228	128	3	3	3	7.4	серые выщелоченные	средней	30	0
43	Россия	2	2	23	81	211	122	1	1	3	6.8	серые выщелоченные	средней	26.4	0
44	Россия	2	2	24	28	202	92	1	2	3	6.8	серые выщелоченные	средней	26	0
45	Россия	2	2	25	32	340	102	1	1	3	6.8	серые выщелоченные	средней	26.8	0

и логические запросы к данным, формировать выборки и отчеты.

На основе анализа информации, собранной в АгроГИС была проведена оценка степени эродированности сельхозугодий, которые примыкают либо

располагаются на эрозионно опасных участках. Для этого была проведена классификация территорий в зависимости от уклона поверхности:

- территории с уклоном менее 1 градуса (очень пологие – эродированность отсутствует);

- территории с уклоном в пределах 1–2 градусов (пологие — слабо эродированные);
- территории с уклоном 2–5 градусов (покатые — слабо эродированные);
- территории с уклоном 5–8 градусов (сильно покатые — средняя эродированность);
- территории с уклоном 8–20 градусов (крутые — сильно эродированные);
- территории с уклоном 20–45 градусов (очень крутые — интенсивно эродированные);
- территории с уклоном свыше 45 градусов (обрывистые — не используются).

Анализ показал, что основная площадь сельскохозяйственных земель залегает на неэродированных территориях с уклоном менее 1 градуса. Однако ряд земель располагается слабо и средне эродированных территориях.

Также был проведен анализ возможности выращивания нормативно чистой продукции по радиологическому критерию, в результате чего было

установлено, что производство любого вида сельхозпродукции будет удовлетворять нормативам и применение методов адаптивно-ландшафтного земледелия стоит применять, руководствуясь в первую очередь эрозионной составляющей ландшафтов и их агрохимическими характеристиками.

Заключение

Разработанная ГИС система открыта для редактирования и внесения новых данных. Созданные электронные карты содержат всю необходимую информацию для принятия решений по размещению сельскохозяйственных культур, дифференциации технологий их возделывания при различных уровнях интенсификации производства, оптимальной организации территории с учетом плодородия почв, уровней радиоактивного загрязнения, ландшафтных связей и рисков получения радиоактивно загрязненной продукции, то есть формирования системы адаптивно ландшафтного земледелия и проведения необходимых агротехнологий.

Список источников

1. *Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия–Беларусь)* / под ред. Ю.А. Израэля и И.М. Богдевича. – М. – Минск : Инфосфера – НИА-Природа, 2009. – 139 с.
2. *Ветеринарно-санитарные требования к радиационной безопасности кормов, кормовых добавок, сырья кормового. Допустимые уровни содержания ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs. Ветеринарные правила и нормы ВП 13.5.13/06-01* [Электронный ресурс] : утв. Минсельхозом России 19.12.2000. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/71973506/?ysclid=lp8torwbq426459152> (дата обращения 05.12.2023).
3. *Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.3.2.1078-01.* – М. : ИнерСАН, 2002. – 168 с.
4. *Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.3.2.560-96* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/9052436?ysclid=lp8cp7uv1189147052> (дата обращения: 21.11.2023).
5. *Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации* / под общ. ред. П.М. Сапожникова, С.И. Носова. – М. : Восход-А, 2012. – 157 с.
6. *Кирюшин В.И.* Агроэкологическая классификация земель как основа формирования систем земледелия // Почвоведение. – 1997. – № 1. – С. 79–87.
7. *Кирюшин В.И.* Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия. – Пущино : Пущинский научный центр, 1993. – 63 с.
8. *Кирюшин В.И.* Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. – М. : Колос, 2011. – 442 с.
9. *Кирюшин В.И.* Экологические основы земледелия. – М. : Колос, 1996. – 365 с.
10. *Кузнецов В.К.* Научные основы и системы мероприятий по реабилитации радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных территорий в адаптивно-ландшафтном земледелии : дис. ...докт. биол. наук : 03.01.01. – Обнинск, 2014. – 453 с.
11. *Кулаковская Т.Н., Богдевич И.М., Ярошевич М.И.* Методы определения оптимальных параметров агрохимических свойств, отражающих разную степень окультуренности и продуктивности почвы // Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров свойств почвы. – М. : Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1980. – С. 5–15.
12. *Тульская область: чертеж проекта внутрихозяйственного землеустройства областной опытной сельскохозяйственной станции Плавского района Тульской области* / сост. и подгот. к печати: Картфилиал Росземпроекта г. Плавск; чертил Ланосенко В.И. – 1 : 25 000. – Плавск : Картфилиал Росземпроекта, 1998. – 1 л.
13. *Burrough P. A.* Principles of geographical information systems for land resources assessment. – Oxford – New York : Oxford University Press, 1986. – 193 p.
14. *Burrough P. A., McDonell R. A.* Principles of geographical information system. – Oxford – New York: Oxford University Press, 1998. – 333 p.
15. *Oliver M.A. Webster R.* A Method of interpolation for geographical information systems // International journal of geographic information systems. – 1990. – Vol. 4. – Iss. 3. – pp. 313–332. DOI: 10.1080/02693799008941549.

References

1. *Israel Yu.A., Bogdevich I.M.* (eds.) Atlas sovremennykh i prognoznykh aspektov posledstviy avarii na Chernobyl'skoi AES na posttradavshikh territoriyakh Rossii i Belarusi [Atlas of modern and forecast aspects of the consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant in the affected territories of Russia and Belarus]. Moscow – Minsk: Infosfera – IA-Природа, 2009. 139 p.

2. *Veterinarno-sanitarnye* trebovaniya k radiatsionnoi bezopasnosti kormov, kormovykh dobavok, syr'ya kormovogo. Dopustimye urovni soderzhaniya ^{90}Sr i ^{137}Cs . Veterinarnye pravila i normy VP 13.5.13/06-01 [Veterinary and sanitary requirements for radiation safety of feed, feed additives, feed raw materials. Acceptable content levels of ^{90}Sr and ^{137}Cs . Veterinary rules and regulations VP 13.5.13/06-01] : approved by the Ministry of Agriculture of Russia on 19.12.2000. Available at: <https://base.garant.ru/71973506/?ysclid=lp50torwbq426459152> (accessed 05.12.2023).
3. *Gigienicheskie* trebovaniya bezopasnosti i pishchevoi tsennosti pishchevykh produktov. Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normy SanPiN 2.3.2.1078-01 [Hygienic requirements for the safety and nutritional value of food products. Sanitary and epidemiological rules and regulations SanPiN 2.3.2.1078-01]. Moscow : InerSAN, 2002. 168 p.
4. *Gigienicheskie* trebovaniya k kachestvu i bezopasnosti proizvodstvennogo syr'ya i pishchevykh produktov. Sanitarnye pravila i normy SanPiN 2.3.2.560-96 [Hygienic requirements for the quality and safety of food raw materials and food products. Sanitary rules and regulations SanPiN 2.3.2.560-96]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/9052436?ysclid=lp8cp7vuv1189147052> (accessed 21/11/2023).
5. *Sapozhnikov P.M., Nosov S.I.* (eds.) Gosudarstvennaya kadastraya otsenka zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya Rossiiskoi Federatsii [State cadastral assessment of agricultural lands of the Russian Federation]. Moscow: Voskhod-A; 2012. 157 p.
6. *Kiryushin V.I.* Agroecological classification of lands as a basis for development of agricultural systems. *Eurasian soil science*. 1997;30(1):67–73.
7. *Kiryushin V.I.* Kontseptsiya adaptivno-landshaftnogo zemledeliya [The concept of adaptive landscape farming]. Pushchino: Pushchinskii nauchnyi tsentr; 1993. 63 p.
8. *Kiryushin V.I.* Teoriya adaptivno-landshaftnogo zemledeliya i proektirovanie agrolandshaftov [Theory of adaptive landscape agriculture and agricultural landscape design]. Moscow: Kolos; 2011. 442 p.
9. *Kiryushin V.I.* Ehkologicheskie osnovy zemledeliya [Ecological foundations of agriculture]. Moscow: Kolos; 1996. 365 p.
10. *Kuznetsov V.K.* Nauchnye osnovy i sistemy meropriyatii po reabilitatsii radioaktivno zagryaznennykh sel'skokhozyaistvennykh territorii v adaptivno-landshaftnom zemledelii [Scientific foundations and systems of measures for the rehabilitation of radioactively contaminated agricultural areas in adaptive landscape farming]: dissertation for the degree of the doctor of biological science: 03.01.01. Obninsk, 2014. 453 p.
11. *Kulakovskaya T.N., Bogdevich I.M., Yaroshevich M.I.* Metody opredeleniya optimal'nykh parametrov agrokhimicheskikh svoystv, otrazhayushchikh raznyuyu stepen' okul'turenosti i produktivnosti pochvy [Methods for determining the optimal parameters of agrochemical properties, reflecting different degrees of soil cultivation and productivity]. In: *Teoreticheskie osnovy i metody opredeleniya optimal'nykh parametrov svoystv pochvy*. Moscow: Pochvennyi institut im. V.V. Dokuchaeva, 1980. pp. 5–15.
12. *Tul'skaya oblast'*: chertezh proekta vnutrikhozyaistvennogo zemleustroistva oblastnoi opytnoi sel'skokhozyaistvennoi stantsii Plavskogo raiona Tul'skoi oblasti [Tula region: drawing of the project for on-farm land management of the regional experimental agricultural station of the Plavsk district of the Tula region]. 1 : 25 000. Plavsk: Kartfilial Roszemproekta: 1998. 1 fol.
13. *Burrough P.A.* Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford – New York: Oxford University Press; 1986. 193 p.
14. *Burrough P.A., McDonell R.A.* Principles of geographical information system. Oxford – New York: Oxford University Press; 1998. 333 p.
15. *Oliver M.A., Webster R.* Kriging: A Method of interpolation for geographical information systems. *International journal of geographic information systems*. 1990;4(3):313–332. DOI: 10.1080/02693799008941549.

Статья поступила в редакцию 02.06.2023, одобрена после рецензирования 27.09.2023, принята к публикации 10.12.2023.
The article was submitted 02.06.2023; approved after reviewing 27.09.2023; accepted for publication 10.12.2023.

Информация об авторах

Кречетникова Евгения Олеговна

Младший научный сотрудник

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

249035 Обнинск, Киевское ш., д. 1, к. 1

e-mail: evg.krechet@yandex.ru

ORCID 0000-0002-3601-2201

Information about authors

Evgeniya O. Krechetnikova

Junior Researcher

Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre «Kurchatov Institute»

1, build. 1, Kievskoe shosse, Obninsk, 249035, Russia

e-mail: evg.krechet@yandex.ru

ORCID 0000-0002-3601-2201

Кречетников Виктор Владимирович

Научный сотрудник

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

249035 Обнинск, Киевское ш., д. 1, к. 1

e-mail: viktor.krechetnikov@mail.ru

ORCID 0000-0002-6099-6917

Victor V. Krechetnikov

Researcher

Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre «Kurchatov Institute»

1, build. 1, Kievskoe shosse, Obninsk, 249035, Russia

e-mail: viktor.krechetnikov@mail.ru

ORCID 0000-0002-6099-6917

Кузнецов Владимир Константинович

Доктор биологических наук
Главный научный сотрудник, и.о. зав. лаборатории
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
институт радиологии и агроэкологии Национального
исследовательского центра «Курчатовский институт»
249035 Обнинск, Киевское ш., д. 1, к. 1
e-mail: vkkuzn@yandex.ru
ORCID 0000-0003-4481-9395

Титов Игорь Евгеньевич

Научный сотрудник
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
институт радиологии и агроэкологии Национального
исследовательского центра «Курчатовский институт»
249035 Обнинск, Киевское ш., д. 1, к. 1
e-mail: titan13_08@mail.ru
ORCID 0000-0002-5275-3229

Vladimir K. Kuznetsov

Doctor of Biological Sciences
Chief Researcher, Acting Head Laboratory
Russian Institute of Radiology and Agroecology
of National Research Centre «Kurchatov Institute»
1, build. 1, Kievskoe shosse, Obninsk, 249035, Russia
e-mail: vkkuzn@yandex.ru
ORCID 0000-0003-4481-9395

Igor E. Titov

Researcher
Russian Institute of Radiology and Agroecology
of National Research Centre «Kurchatov Institute»
1, build. 1, Kievskoe shosse, Obninsk, 249035, Russia
e-mail: titan13_08@mail.ru
ORCID 0000-0002-5275-3229