

Геоинформатика. 2024. № 4. С. 21–28.  
*Geoinformatika*. 2024;(4):21–28.

Применение ГИС-технологий

Научная статья  
 УДК 528.952:631.95  
<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-4-21-28>

## Разработка информационно-расчетного комплекса для оценки радиоэкологической ситуации на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных угодьях

© 2024 г. — Виктор Владимирович Кречетников<sup>а)</sup>, Игорь Евгеньевич Титов<sup>б)</sup>, Евгения Олеговна Кречетникова<sup>с)</sup>, Владимир Константинович Кузнецов<sup>д)</sup>

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» НИЦ «Курчатовский институт» — ВНИИРАЭ; Обнинск, Россия

<sup>а)</sup>viktor.krechetnikov@mail.ru, <sup>б)</sup>titan13\_08@mail.ru, <sup>с)</sup>evg.krechet@yandex.ru, <sup>д)</sup>vkuzn@yandex.ru

**Аннотация:** Для организации земледелия на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных землях с учетом уровней загрязнения и ландшафтных особенностей апробируется информационно-расчетный комплекс для оценки радиоэкологической ситуации. В мобильном приложении NextGIS Collector для полевых операторов создана пилотная версия рабочей среды и разработаны требования к информационному наполнению различных блоков комплекса. В программной среде NextGIS QGIS создан ГИС-проект тестового хозяйства Тульский НИИСХ, в котором будут разрабатываться расчетно-аналитические модули.

Данный проект содержит базы атрибутивных данных, а также созданные на их основе электронные карты различной тематической направленности, которые в дальнейшем будут применяться для комплексного анализа радиоэкологической обстановки. Также разработаны математические основы расчетно-аналитических модулей, которые планируется реализовать в виде встроженных программных блоков.

Представленные материалы предполагается использовать для практической апробации на территории тестового сельскохозяйственного предприятия и последующей разработки рекомендаций по проектированию адресных защитных и реабилитационных мероприятий ландшафтно-экологической направленности для разных видов агроландшафтов на радиоактивно загрязненных территориях.

**Ключевые слова:** радиоактивное загрязнение; агроландшафты; радионуклиды; накопление радионуклидов; база атрибутивных данных; ГИС; информационно-расчетный комплекс; расчетно-аналитические модули.

*Для цитирования:* Кречетников В.В., Титов И.Е., Кречетникова Е.О., Кузнецов В.К. Разработка информационно-расчетного комплекса для оценки радиоэкологической ситуации на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных угодьях // Геоинформатика. — 2024. — № 4. — С. 21–28. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-4-21-28>.

Application of GIS-technologies

Original article

## Development of an information and calculation complex for assessing the radioecological situation on radioactively contaminated agricultural land

© 2024 — Viktor V. Krechetnikov<sup>а)</sup>, Igor E. Titov<sup>б)</sup>, Evgeniya O. Krechetnikova<sup>с)</sup>, Vladimir K. Kuznetsov<sup>д)</sup>

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

<sup>а)</sup>viktor.krechetnikov@mail.ru, <sup>б)</sup>titan13\_08@mail.ru, <sup>с)</sup>evg.krechet@yandex.ru, <sup>д)</sup>vkuzn@yandex.ru

**Abstract:** To organize agriculture on radioactively contaminated agricultural lands, taking into account the levels of contamination and landscape features, an information and calculation complex for assessing the radioecological situation is tested. In the NextGIS Collector mobile application for field operators, a pilot version of the working environment has been created and requirements for the information content of various blocks of the complex have been developed. In the NextGIS QGIS software environment, a GIS project of the test farm of the Tula Research Institute of Agriculture has been created, in which calculation and analytical modules will be created. This project contains attribute data bases, as well as electronic maps of various thematic focus created on their basis, which will be used in the future for a comprehensive analysis of the radioecological situation. Also, the mathematical foundations of calculation and analytical modules have been developed, which are planned to be implemented in the form of built-in software blocks.

The presented materials are supposed to be used for practical testing on the territory of a test agricultural enterprise and the subsequent development of recommendations for the design of targeted protective and rehabilitation measures of landscape-ecological focus for different types of agrolandscapes in radioactively contaminated areas.

**Key words:** radioactive contamination; agrolandscapes; radionuclides; accumulation of radionuclides; attribute data base; GIS; information and calculation complex; calculation and analytical modules.

*For citation:* Krechetnikov V.V., Titov I.E., Krechetnikova E.O., Kuznetsov V.K. Development of an information and calculation complex for assessing the radioecological situation on radioactively contaminated agricultural land. *Geoinformatika*. 2024;(4):21–28. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-4-21-28>. In Russ.

## Введение

Организация земледелия на радиоактивно загрязненных территориях является сложной многофакторной задачей, при решении которой необходимо учитывать уровни и характер загрязнения сельскохозяйственных земель, зональные и агроландшафтные особенности территорий, специфику ведения растениеводства и животноводства, а также эколого-экономическую эффективность реабилитационных мероприятий по снижению перехода радионуклидов в продукцию. Следует учитывать, что организация системы землеустройства на радиоактивно загрязненных территориях из-за различий в природно-климатических условиях, геоморфологических особенностей территорий, специализации хозяйств и структуры севооборотов, а также особенностей радиоактивного загрязнения представляет собой достаточно сложную задачу. Такого рода задачи целесообразно решать с применением современных программных средств, таких как геоинформационные системы, мобильные приложения, системы управления базами данных (СУБД) и постоянно проводимого радиоэкологического мониторинга сельскохозяйственных угодий.

Необходимо отметить, что при сборе и систематизации информации для оценки ситуации на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных землях необходимо ограничить перечень показателей для оценки и выбрать ключевые показатели, характеризующие состояние сельскохозяйственных угодий, включая почвенно-геологические, агрохимические, ландшафтно-агроэкологические и др. Радиоэкологическая оценка должна опираться на методологическую базу и совокупность методов, нацеленных на получение количественных показателей — рисков загрязнения сельскохозяйственной продукции. В результате такого рода исследований формируется банк данных, который может быть использован как для количественных расчетов, так и экспертных оценок.

## Материалы и методы

Для оценки радиоэкологической ситуации на сельскохозяйственных землях с различными элементами агроландшафта апробируется информационно-расчетный комплекс, позволяющий собирать, хранить, обрабатывать эмпирические данные, а также выполнять прогностические и сценарные расчеты. В качестве основы для создания такого рода комплекса была выбрана программная среда NextGIS, которая обладает всеми возможностями СУБД и мощным расчетно-аналитическим инструментарием. В программной среде NextGIS QGIS вся собранная атрибутивная информация хранится и обрабатывается посредством созданных расчетно-аналитических модулей, написанных на языке программирования Python.

На этапе получения информации в ходе полевых работ будут использовать мобильные устрой-

ства, позволяющие аккумулировать показатели, характеризующие состояние сельскохозяйственных угодий, с помощью программы NextGIS Collector, которая позволяет в полуавтоматическом режиме заполнять паспорт отобранной пробы и на месте отмечать особенности территории.

Создание ГИС-проекта позволяет определять пространственное расположение исследуемых объектов, проводить анализ плотности распределения по территории различных показателей (плотности радиоактивного загрязнения, агрохимических показателей и т. д.), определить временные изменения характеристик на определенной площади, смоделировать состояние исследуемых объектов при внесении изменений в характеристики объекта, например, изменение агрохимических показателей посредством внесения удобрений.

Для наполнения расчетно-информационного комплекса для оценки радиоэкологической ситуации на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных угодьях разработана процедура обследования территории хозяйств. Указанная процедура включает следующие этапы:

1. Обследование территории рассматриваемого хозяйства с отбором проб и применением мобильного приложения для сбора первичных радиоэкологических показателей (измерение МАЭД от  $^{137}\text{Cs}$ , описание особенностей территории и отобранной пробы и т. д.), а также использование беспилотных летающих аппаратов (БПЛА) при сильно выраженных особенностях рельефа.

2. Передача собранной информации в созданный комплекс для наполнения базы атрибутивных данных исследуемой территории.

3. Выделение с помощью расчетно-аналитического модуля условно однородных с точки зрения ландшафтных и почвенно-экологических характеристик участков (УОУ).

4. Определение с помощью расчетно-аналитического модуля значений коэффициента KDA, связывающего мощность амбиентного эквивалента дозы от  $^{137}\text{Cs}$  (МАЭД) с плотностью загрязнения почвы этим радионуклидом (As).

5. Оценка рисков превышения нормативов содержания  $^{137}\text{Cs}$  в продукции растениеводства [1] и кормопроизводства [2] с помощью расчетно-аналитического модуля.

Для комплексной характеристики земель исследуемой территории необходимо иметь сведения о структуре земельного фонда и его пространственном выражении. Для наиболее полного описания территории были выделены следующие показатели состояния агроландшафтов:

- 1) временные — дата обследования;
- 2) географические — географические координаты (широта, долгота, высота над уровнем моря);
- 3) административно-хозяйственные — область, район, предприятие, вид угодий (пашня, пастбище,

сенокосы (улучшенные и природные), залежь, многолетние насаждения и др.); тип севооборота (полевой, кормовой, овощной и др.), номер севооборота, номер поля, номер производственного участка, площадь обследуемого земельного участка; мелиоративное состояние земельного участка (осушение, орошение), вид сельскохозяйственных культур;

4) ландшафтно-агроэкологические показатели — природно-сельскохозяйственная зона, природно-сельскохозяйственная провинция; природно-сельскохозяйственный район, агроэкологическая группа земель сельскохозяйственного назначения (зональные, эрозионные, полугидроморфно-зональные, полугидроморфные, гидроморфные), морфологический тип рельефа (равнины плоские, волнистые, холмистые, увалистые и их комбинации), формы мезорельефа (холм, увал, ложбина, лощина, балка, пойма, террасы (верхняя, вторая надпойменная, первая надпойменная), плоское положение), форма склона (прямой, выпуклый, вогнутый, сложный), длина склона, крутизна склона (уклон в градусах), экспозиция склона (северная, северо-восточная, северо-западная, южная, юго-восточная, юго-западная), местоположение в водоохранной зоне;

5) почвенно-геологические показатели — почвообразующие породы (покровные, лессовидные, ледниковые, флювиогляциальные, аллювиальные и др.), подстилающие породы, уровень залегания грунтовых вод, степень сложности (пестроты) почвенного покрова, степень каменистости (слабая, средняя, сильная), подверженность ветровой эрозии (слабая, средняя, сильная), подверженность водной эрозии (слабая, средняя, сильная), тип и подтип почвы, род и вид почвы (по мощности гумусового горизонта и содержанию гумуса), разновидность (по гранулометрическому составу), степень эродированности (слабо-, средне-, сильноэродиро-

ванные), степень дефлированности (слабо-, средне-, сильнодефлированные), мощность пахотного горизонта, гранулометрический состав (песчаные, супесчаные, легко-, средне-, тяжелосуглинистые, глины), равновесная плотность слоев почв;

6) агрохимические свойства почв — содержание гумуса, содержание  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , обменная кислотность, гидролитическая кислотность, сумма поглощенных оснований, степень насыщенности основаниями, азот легкогидролизующий, магний, кальций;

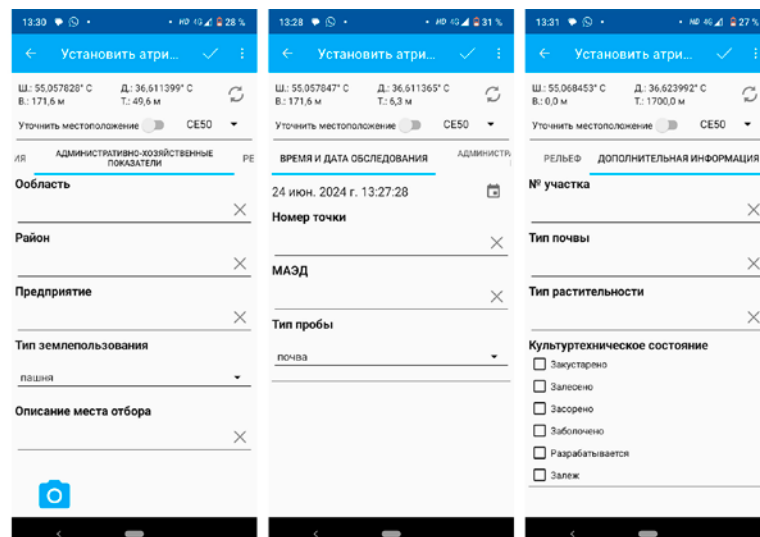
7) радиоэкологические показатели — мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения почвенного покрова, вид радионуклидов, удельная активность радионуклида в почве, распределение радионуклида по профилю почв, среднее содержание радионуклида в пахотном слое почвы, плотность загрязнения, удельная активность радионуклида в травостое и сельскохозяйственных культурах, коэффициенты накопления радионуклида ( $K_n$ ) в травостое и сельскохозяйственных культурах, коэффициенты перехода ( $K_p$ ) в травостой и сельскохозяйственные культуры.

**Обсуждение результатов**

Ряд этих показателей определяется при лабораторных исследованиях, а временные, географические, административно-хозяйственные, ландшафтно-агроэкологические и часть почвенно-геологических и радиологических показателей определяются на месте и указываются в мобильном приложении. На данный момент создана пилотная версия рабочей среды для полевого оператора в мобильном приложении NextGIS Collector, которая позволяет автоматически определять координаты точек, время и дату обследования, а также выбирать из списков показателей те, которые характеризуют исследуемую территорию (рис. 1).

Рис. 1. Рабочая среда журнала для полевого оператора

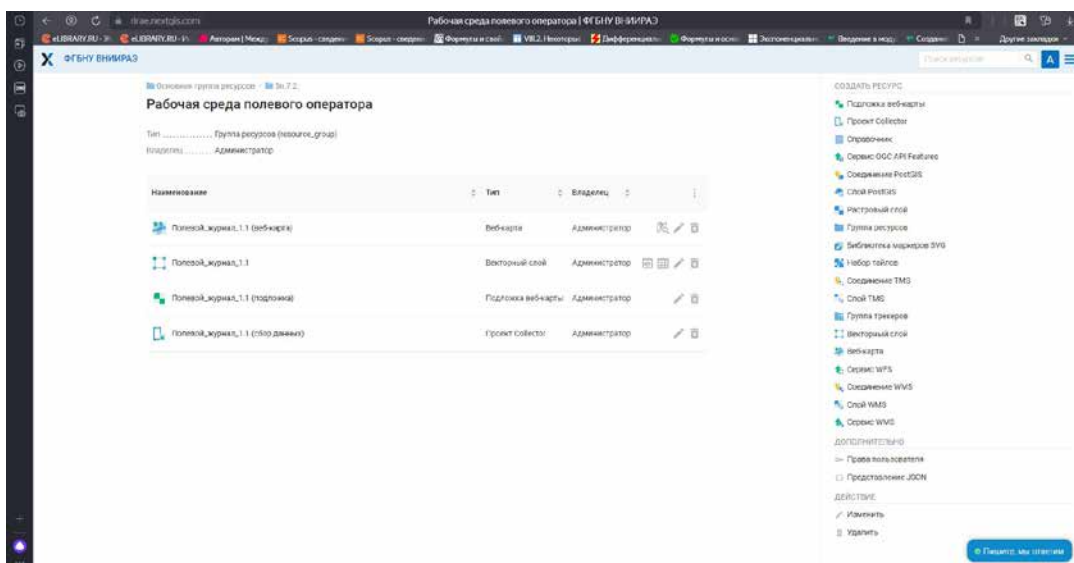
Fig. 1. Field operator's log workspace



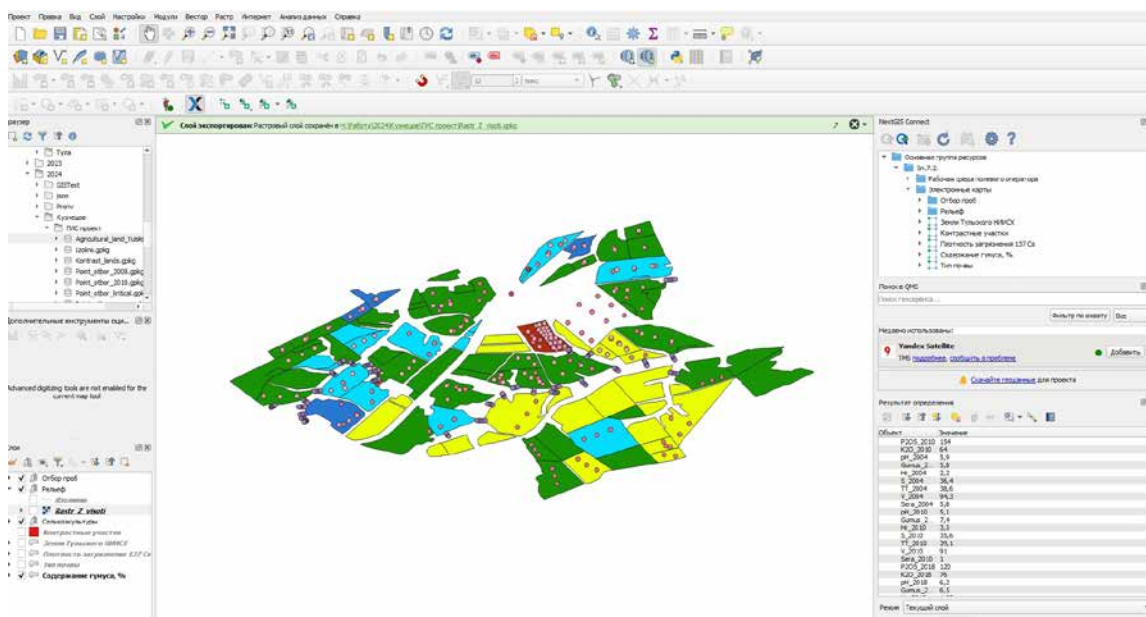
Собранные показатели в режиме онлайн передаются в облачное хранилище (рис. 2), откуда в дальнейшем экспортируются в NextGIS QGIS для добавления в атрибутивную базу данных и последующего анализа. Хранение атрибутов осуществляется в формате GeoPackage, который является базой данных, поддерживающей прямое использование в NextGIS QGIS. Это контейнерная база данных SQLite с возможностью хранить векторные объекты, атрибуты, расширения, наборы изображений с мозаичными матрицами и растровые карты различного масштаба. Открытый формат

GeoPackage представляет собой контейнер, который позволяет хранить данные ГИС в одном файле. Один файл может содержать как векторные, так и растровые данные в разных системах отсчета координат, а также таблицы без пространственной информации. На данный момент в информационно-расчетный комплекс добавлены атрибутивные данные и построенные на их основе векторные карты для тестового хозяйства Тульский НИИСХ [3]. Созданный комплекс содержит следующую информацию: административно-хозяйственную характеристику участков и полей севооборотов,

**Рис. 2.** Облачное хранилище информации, собранной полевыми операторами  
*Fig. 2. Cloud storage of information collected by field operators*



**Рис. 3.** Созданные векторные карты в программной среде NextGIS QGIS  
*Fig. 3. Vector maps created in the NextGIS QGIS software environment*



рельеф, почвы, радиоактивное загрязнение, агрохимические показатели (рис. 3). Вся собранная и обработанная информация добавляется в облачное хранилище для публичного просмотра (рис. 4, 5).

На следующем этапе работ планируется создать на языке Python расчетно-аналитические модули, которые будут обрабатывать собранные показатели, выделять условно однородные участки, определять значения коэффициента KDA и осуществлять оценку рисков превышения нормативов содержания  $^{137}\text{Cs}$  в продукции растениеводства и кормопроизводства.

Выделение относительно однородных участков будет базироваться на оценке ландшафтных особенностей исследуемой территории. При выборе условно однородных участков прежде всего следует выделять плакорные и эрозионные элементы ландшафта. В рамках плакорных элементов могут присутствовать пахотные и пастбищные земли, различающиеся распределением  $^{137}\text{Cs}$  по почвенному профилю. В луговых (ненарушенных) почвах вертикальная миграция  $^{137}\text{Cs}$  происходит под воздействием естественных процессов, в отличие от почв, перемешиваемых в результате вспашки.

Рис. 4. Облачное хранилище созданных электронных карт  
Fig. 4. Cloud storage of created electronic maps

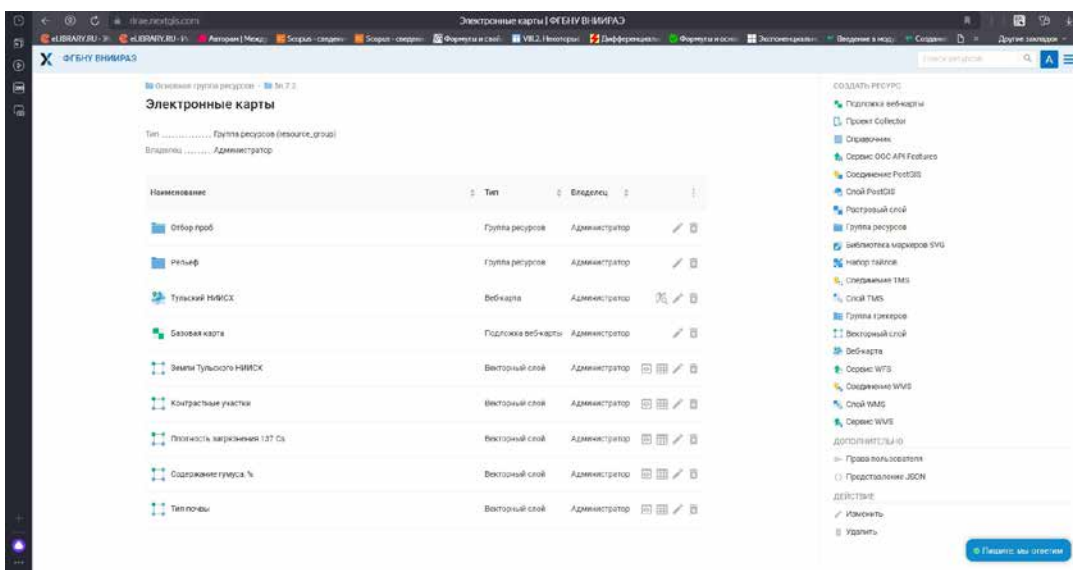
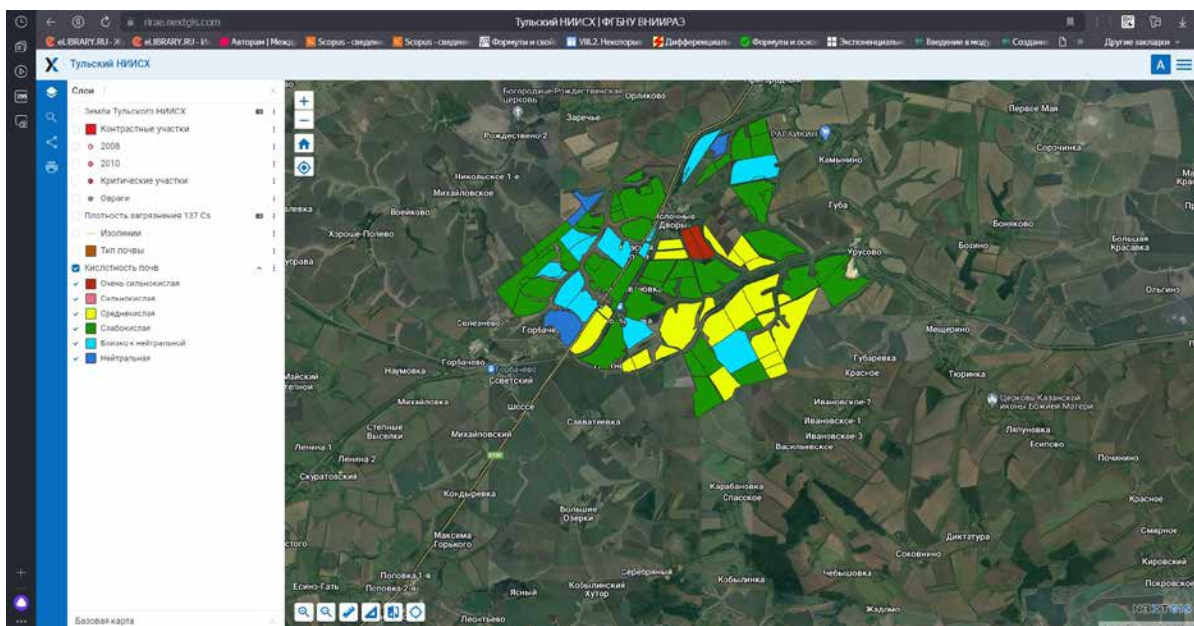


Рис. 5. Веб-представление созданных электронных карт  
Fig. 5. Web representation of created electronic maps



Принято считать, что после вспашки  $^{137}\text{Cs}$  распределяется равномерно в пределах корнеобитаемого слоя. Можно полагать, что распределение  $^{137}\text{Cs}$  по почвенному профилю плакорных участков, как пахотных, так и ненарушенных, стабилизировалось в отдаленный период после выпадений.

Особенность эрозионных участков — горизонтальный перенос радионуклидов, в частности, за счет смыва почвы в аккумулятивные элементы ландшафта [4]. Эти процессы существенным образом влияют на перераспределение  $^{137}\text{Cs}$  между элементами агроландшафта и, как следствие, на интенсивность накопления радионуклидов в сельскохозяйственных растениях [5]. Таким образом, в первом приближении следует выделять в качестве условно однородных участков плакорные и эрозионно-аккумулятивные элементы агроландшафта с учетом радиологических и агрохимических показателей.

Выделение таких участков будет проводиться с применением кластерного анализа с выделением веса для каждого из показателей. Наиболее высокой значимостью обладают такие показатели, как уклон местности и плотность загрязнения почвы радионуклидом. Меньший вес присваивается таким показателям, как различные агрохимические характеристики, экспозиция склона и гранулометрический состав почвы.

Определение значения коэффициента KDA необходимо для упрощения анализа плотности загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$ . В силу того, что процедура отбора почвенных образцов, пробоподготовки и измерения содержания радионуклидов требует времени и материальных затрат, часто объемы исследуемых выборок не являются достаточными для проверки статистической значимости. Для упрощения процедуры параметризации статистических моделей можно использовать легко измеримый показатель, коррелирующий с плотностью загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$ . Таким показателем является мощность амбиентного эквивалента дозы от  $^{137}\text{Cs}$  (МАЭД), которую можно оперативно измерить в полевых условиях с помощью портативного гамма-спектрометра-дозиметра.

В статье [6] описана линейная зависимость МАЭД от  $^{137}\text{Cs}$  с плотностью загрязнения почвы этим радионуклидом, о чем свидетельствует коэффициент детерминации ( $r^2 = 0,951$ ). Следует отметить, что эта зависимость получена для однородных по ландшафтному и радиологическим свойствам участков, расположенных на территории юго-западных районов в Брянской области, подвергшихся чернобыльским выпадениям. Радиологическая однородность подтверждается тем, что на этих участках сформировано стабильное вертикальное распределение  $^{137}\text{Cs}$  в почве. Для указанных условий авторами статьи [6] рекомендовано значение

коэффициента KDA, связывающего МАЭД и плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ , —  $0,57(\text{нЗв})/(\text{кБк}/\text{м}^2)$ .

Таким образом, можно оптимизировать процедуру формирования выборки по плотности загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  путем использования данных, характеризующих МАЭД, полученных в ходе полевых работ, и значений коэффициента KDA.

Прогнозирование поступления  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственные растения на территориях, подвергшихся чернобыльским выпадениям, будет выполняться на основе двух базовых показателей — плотности загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  и коэффициента накопления этого радионуклида ( $K_n$ ) [7, 8]. Для оценки накопления  $^{137}\text{Cs}$  в агропродукции целесообразно использовать вероятностный подход, согласно которому плотность загрязнения почвы и  $K_n$  рассматриваются как случайные величины [9].

В условиях квазистационарной ситуации в долгосрочный период после радиоактивных выпадений в качестве миграционных параметров рассматриваются коэффициенты накопления долгоживущих радионуклидов в сельскохозяйственных растениях. Коэффициент накопления  $^{137}\text{Cs}$ , так же, как и плотность загрязнения почвы этим радионуклидом, следует считать случайной величиной, аппроксимируемой логнормальным распределением [7, 8, 10]. В документах МАГАТЭ величины  $K_n$  для различных радионуклидов, сельскохозяйственных растений и групп почв приводятся в виде набора характеристик, к которым относятся средние геометрические значения (GM) и стандартные отклонения логнормальных распределений (GSD) [7, 8].

Универсальность логнормального закона распределения радиоактивного загрязнения почв и миграционных параметров позволяет использовать свойство мультипликативности при статистическом прогнозировании накопления радионуклидов в сельскохозяйственной продукции.

## Заключение

В результате проведенных работ по созданию информационно-расчетного комплекса для оценки радиологической ситуации на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных угодьях с использованием современных информационных технологий на основе проведенных ранее исследований по оценке радиологического состояния сельскохозяйственных угодий тестового хозяйства Тульский НИИСХ были сформулированы основные требования к созданию информационно-расчетного инструментария (мобильные приложения, ГИС, базы данных, расчетно-аналитических модулей). Для оценки радиологической ситуации на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных угодьях разработана пилотная версия рабочей среды для полевого оператора в мобильном приложении NextGIS Collector и создана атрибутивная база

данных в формате GeoPackage в ГИС-среде NextGIS QGIS. На основе атрибутивной базы данных созданы электронные карты, необходимые для комплексного анализа исследуемой территории. Также разработаны математические основы для расчетно-аналитических модулей, которые в дальнейшем будут реализованы как встроенные программные модули.

Представленные материалы будут использованы для практической апробации на территории тестового сельскохозяйственного предприятия и последующей разработки рекомендаций по проектированию адресных защитных и реабилитационных мероприятий ландшафтно-экологической направленности для разных видов агроландшафтов на радиоактивно загрязненных территориях.

#### Список источников

1. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов : утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 14.11.2001 г. № 36. – М. : ИнтерСЭН, 2002. – 168 с.
2. ВП 13.7.13-99. Ветеринарные правила обеспечения радиационной безопасности животных и продукции животного происхождения : утв. Главным государственным ветеринарным инспектором Российской Федерации 12.07.1999 г. – М.: Минсельхозпрод России, 2001. – 55 с.
3. Кречетникова Е.О., Кречетников В.В., Кузнецов В.К., Титов И.Е. Эколого-агротомическая геоинформационная система радиоактивно загрязненных угодий Тульского НИИСХ // Геоинформатика. – 2023. – № 4. – С. 52–60. DOI: 10.47148/1609-364X-2023-4-52-60.
4. Кузнецов В.К. Научные основы и системы мероприятий по реабилитации радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных угодий в адаптивно-ландшафтном земледелии : автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Обнинск, 2014. – 50 с.
5. Спиридонов С.И., Кречетников В.В., Титов И.Е., Кузнецов В.К. Прогнозирование вертикальной миграции  $^{137}\text{Cs}$  чернобыльского происхождения в почвах плакорных и аккумулятивных агроландшафтов Плавского радиоактивного пятна // Агротомический вестник. – 2022. – № 5. – С. 77–82. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-5-015.
6. Рамзаев В.П., Барковский А.Н., Братилова А.А. Мощность амбиентного эквивалента дозы и плотность загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  на огородах в населенных пунктах Брянской области России в 2020-2021 гг. // Радиационная гигиена. – 2021. – Т. 14. – № 4. – С. 85–95. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-4-85-95.
7. Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments / International Atomic Energy Agency. – Vienna: IAEA, 2009. – 625 p.
8. Handbook of parameter values for prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments / International Atomic Energy Agency. – Vienna: IAEA, 2010. – 208 p.
9. Фесенко С.В., Черняева Л.Г., Санжарова Н.И., Алексахин Р.М. Вероятностный подход к прогнозированию радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции // Атомная энергия. – 1993. – Т. 74. – № 6. – С. 507–513.
10. Хомутинин Ю.В., Кашпаров В.А., Жебровская Е.И. Оптимизация отбора и измерений проб при радиоэкологическом мониторинге. – Киев : УкрНИИСХР, 2001. – 160 с.

#### References

1. SanPiN 2.3.2.1078-01. Gigenicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoi tsennosti pishchevykh produktov [SanPiN 2.3.2.1078-01. Hygienic requirements for the safety and nutritional value of food products]: approved by the Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated 11/14/2001 No. 36. Moscow: InterSEN; 2002. 168 p.
2. VP 13.7.13-99. Veterinarnye pravila obespecheniya radiatsionnoi bezopasnosti zhivotnykh i produktsii zhivotnogo proiskhozhdeniya [Veterinary rules for ensuring radiation safety of animals and products of animal origin]: approved by the Chief State Veterinary Inspector of the Russian Federation on 12.07.1999. Moscow: Minsel'khosprod Rossii, 2001. 55 p.
3. 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. DOI: 10.47148/1609-364X-2023-4-52-60.
4. Kuznetsov V.K. Nauchnye osnovy i sistemy meropriyatii po reabilitatsii radioaktivno zagryaznennykh sel'skokhozyaistvennykh ugodii v adaptivno-landshaftnom zemledelii [Scientific foundations and systems of measures for the rehabilitation of radioactively contaminated agricultural lands in adaptive landscape agriculture]: Abstract of a dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences. – Obninsk; 2014. – 50 p.
5. Spiridonov S.I., Krechetnikov V.V., Titov I.E., Kuznetsov V.K. Forecast of vertical migration of  $^{137}\text{Cs}$  of the Chernobyl origin in soils of plain and accumulative agrolandscapes of the Pлавsk radioactive spot. *Agrochemical Herald*. 2022;(5):77–82. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-5-015.
6. Ramzaev V.P., Barkovsky A.N., Bratilova A.A. Ambient dose equivalent rate and soil contamination density with  $^{137}\text{Cs}$  in kitchen gardens in settlements of the Bryansk region, Russia in 2020-2021. *Radiation Hygiene*. 2021;14(4):85–95. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-4-85-95.
7. Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments. Vienna: IAEA; 2009. 625 p.
8. Handbook of parameter values for prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. Vienna: IAEA; 2010. 208 p.
9. Fesenko S.F., Chernyaeva L.G., Sanzharova N.I., Aleksakhin R.M. Probabilistic approach to the prediction of radioactive contamination of agricultural production. *Atomic Energy*. 1993;74(6):472–477. DOI: 10.1007/BF00739166.
10. Khomutinina YU.V., Kashparov V.A., Zhebrovskaya E.I. Optimizatsiya otbora i izmerenii prob pri radioekologicheskom monitoringe [Optimization of sampling and measurements during radioecological monitoring]. Kyiv: UKRNIISKHR, 2001. 160 p.

Статья поступила в редакцию 10.09.2024 г., одобрена после рецензирования 25.10.2024 г., принята к публикации 27.11.2024 г.  
The article was submitted 10.09.2024; approved after reviewing 25.10.2024; accepted for publication 27.11.2024.

## Информация об авторах

### Кречетников Виктор Владимирович

Научный сотрудник  
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»  
249032 Обнинск, Киевское ш., д. 1, к. 1  
e-mail: viktor.krechetnikov@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-6099-6917  
Scopus Author ID: 57208577554  
ResearcherID: AAM-1695-2020  
SPIN-код: 7248-4013  
AuthorID: 839785

### Титов Игорь Евгеньевич

Научный сотрудник  
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»  
249032 Обнинск, Киевское ш., д. 1, к. 1  
e-mail: titan13\_08@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-5275-3229  
Scopus Author ID: 36449472300  
SPIN-код: 2589-2233  
AuthorID: 832191

### Кречетникова Евгения Олеговна

Младший научный сотрудник  
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»  
249032 Обнинск, Киевское ш., д. 1, к. 1  
e-mail: evg.krechet@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-3601-2201  
Scopus Author ID: 57223622892  
ResearcherID: AAM-1664-2020  
SPIN-код: 8758-3619  
AuthorID: 1061501

### Кузнецов Владимир Константинович

Доктор биологических наук  
Главный научный сотрудник, и.о. зав. лаборатории  
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»  
249032 Обнинск, Киевское ш., д. 1, к. 1  
e-mail: vkuzn@yandex.ru  
ORCID: 0000-0003-4481-9395  
Scopus Author ID: 7404320840  
ResearcherID: AAL-8365-2020  
SPIN-код: 5507-2480  
AuthorID: 85011

## Information about authors

### Viktor 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  
Scopus Author ID: 57208577554  
ResearcherID: AAM-1695-2020  
SPIN-код: 7248-4013  
AuthorID: 839785

### 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  
Scopus Author ID: 36449472300  
SPIN-код: 2589-2233  
AuthorID: 832191

### 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  
Scopus Author ID: 57223622892  
ResearcherID: AAM-1664-2020  
SPIN-код: 8758-3619  
AuthorID: 1061501

### 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: vkuzn@yandex.ru  
ORCID: 0000-0003-4481-9395  
Scopus Author ID: 7404320840  
ResearcherID: AAL-8365-2020  
SPIN-код: 5507-2480  
AuthorID: 85011