

УДК 504.064.36

© Коллектив авторов

*И.Е. Тутов, В.В. Кречетников, Н.Н. Исамов, В.К. Кузнецов, А.В. Панов*

## ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В РЕГИОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ РОСТОВСКОЙ АЭС

Одной из приоритетных задач повышения эффективности ведения системы радиационно-экологического мониторинга атмосферного воздуха, наземных и водных экосистем в регионах размещения радиационно опасных объектов является оптимизация информационных потоков радиоэкологических данных, их обработки, хранения и представления для принятия управленческих решений и ситуационных прогнозов развития радиационной обстановки.

Появление новых информационных и компьютерных технологий позволяет автоматизировать многие процессы, в том числе в области организации и проведения радиационно-экологического мониторинга. Для оптимизации процессов сбора, обработки, анализа и визуализации радиологических и экологических данных целесообразно осуществлять внедрение в систему мониторинга геоинформационных систем, которые в настоящее время являются достаточно мощным и удобным инструментом для поддержки систем радиационно-экологического мониторинга [1].

Практически вся информация о наземных экосистемах имеет пространственную привязку, поэтому географические информационные системы являются наиболее эффективным средством сбора и обработки данных мониторинга. В современных ГИС сосредоточены последние достижения в области пространственных баз данных. Они содержат мощные средства анализа, играющие ключевую роль в принятии обоснованных решений, эффективные средства представления данных в форме карт, трехмерных моделей и др.

ГИС позволяет визуализировать экологически значимые данные, имеющие географическую привязку, реализовать процедуры выделения и периодического корректирования ареалов экологических проблем, которые характеризуются рядом фиксированных параметров. Кроме того, ГИС дает возможность осуществлять типизацию проблемных ареалов в соответствии с задаваемыми критериями, что позволяет лицам, принимающим решения,

в реальном времени получать информацию для оценки правильности выбранных приоритетов природоохранной деятельности по конкретным территориям и эффективности проведенных мероприятий в области радиационной и экологической безопасности, скорректировать при необходимости программы радиационно-экологического мониторинга.

Важным аспектом ведения сельскохозяйственного производства Российской Федерации является получение нормативно «чистых» продуктов питания в регионах размещения радиационно опасных объектов. Оценка возможности получения сельскохозяйственной продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам, должна быть основана на результатах радиационно-экологического мониторинга. Технология мониторинга должна базироваться на использовании ГИС-технологий и современных программных средств.

Внедрение компьютерных технологий позволяет существенно изменить характер обращения с радиоэкологической информацией, начиная с хранения и обработки результатов измерений радиоактивности в пробах и до составления отчетов и поддержки принятия решений как по реализации программ мониторинга, так и реагированию на изменение качества окружающей среды.

Первым шагом к переходу на более совершенный уровень обращения с информацией является разработка реляционных баз данных, одна из главных задач которых состоит в надежном обеспечении хранения информации. Кроме этого, базы данных позволяют анализировать информацию и преобразовывать данные в необходимый агрегированный вид. Следующим усовершенствованием является использование геоинформационных систем, которые наряду с визуализацией информации позволяют производить пространственный анализ радиоэкологических данных и разрабатывать оптимальные схемы использования сельскохозяйственных земель. Дальнейшим усовершенствованием будет разработка клиент-серверных технологий, которые обеспечат замкнутую связь между органами управления

и исполнительными звеньями системы радиационного контроля в агропромышленном комплексе.

В области агро- и радиационно-экологического мониторинга земель в зонах воздействия АЭС посредством ГИС возможно решение следующих основных задач:

- отражение текущего состояния земельных ресурсов по отдельным параметрам или их возможным совокупностям в виде картосхем различного масштаба по территориальным единицам и уровням;
- оценка состояния и динамики земельных ресурсов по различным параметрам (загрязнение почв, почвенный покров, агрохимические характеристики и т. д.);
- оценка площади и продуктивности сельскохозяйственных угодий;
- прогноз возможного изменения качества земель;
- оценка экономического ущерба от загрязнения земли разными источниками;
- моделирование экологических процессов и др.

В рамках внедрения геоинформационных систем в практику радиационно-экологического мониторинга радиационно опасных объектов создан ГИС-проект мониторинга в регионе размещения Ростовской АЭС (РАЭС). Площадка РАЭС расположена в Дубовском районе Ростовской области в 13,5 км от г. Волгодонска и в 19,8 км от г. Цимлянска. Ближайшие населенные пункты – хутор Хорсеев и станица Подгоренская – находятся вне санитарно-защитной зоны РАЭС, на расстоянии 4,0 и 5,0 км соответственно. Зона наблюдения РАЭС, занимающая площадь

282,6 тыс. га, включает 91,3 га водной поверхности юго-западной части Цимлянского водохранилища. В 30-километровую зону входят два города – Волгодонск и Цимлянск, 38 сельских поселений, а также сельскохозяйственные угодья 24 коллективных фермерских хозяйств Волгодонского, Цимлянского, Зимовниковского и Дубовского районов [2].

ГИС-проект системы радиационно-экологического мониторинга Ростовской АЭС создан в среде ArcMap 10.5, входящей в состав пакета ArcGis. Объектами проекта являются атрибутивные таблицы для хранения информации и электронные карты для визуализации данных. ArcMap обеспечивает все возможности обработки и управления данными при работе с большими объемами информации. Проект открыт для внесения новых и редактирования существующих данных в случае необходимости. Все географические данные приведены к единой системе координат – WGS84 [3].

ГИС-проект разработан на основе результатов 18-летних наблюдений на созданной в 2001 г. сети радиационно-экологического мониторинга, включающей 7 контрольных участков и 2 контрольных пункта, а также экспедиционного обследования аграрных и природных экосистем, расположенных в 3, 5, 10 и 30-километровых зонах Ростовской АЭС [4]. Атрибутивные таблицы данных проекта содержат информацию о содержании техногенных ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) и естественных радионуклидов ( $^7\text{Be}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ), тяжелых металлов 1-3-го классов опасности (Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Co, Mo, Cd, Ni, Cr) в почвенных пробах 30-километровой зоны Ростовской АЭС, отобранных в 609 контрольных точках (рис. 1, табл. 1).

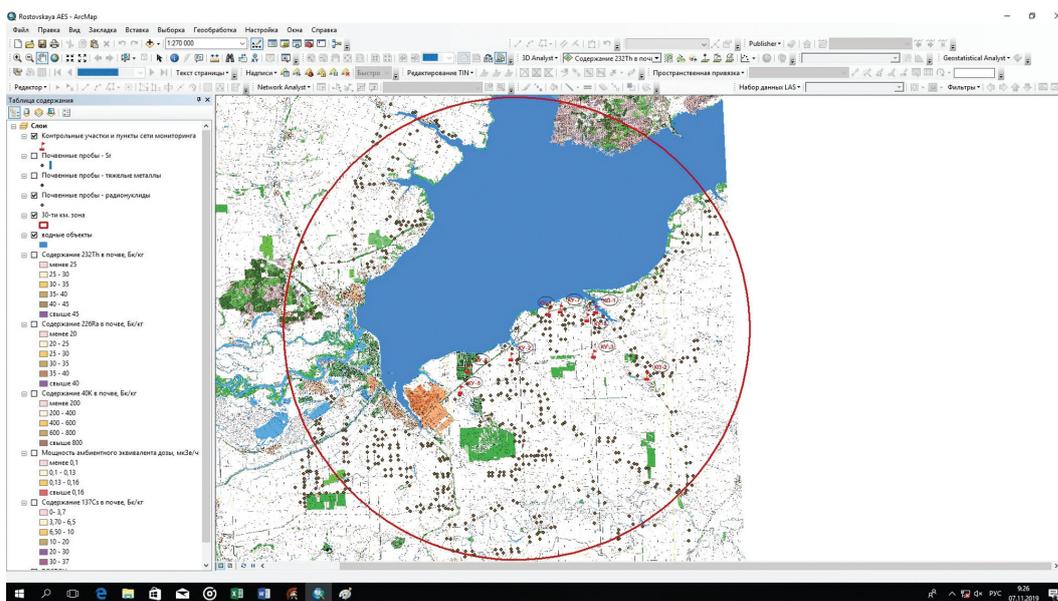


Рис. 1. Электронная карта «Точки отбора почвенных проб»

Fig. 1. Electronic map «Points of soil sampling»

Таблица 1

**Описание атрибутивной информации в ГИС проекте**
*Description of attribute information in a GIS project*

Имя поля	Тип данных	Пояснение
FID	счетчик	присваивается автоматически каждому объекту в таблице
Shape	текстовый	тип объекта
y	числовой	широта
x	числовой	долгота
№ пробы	числовой	номер пробы
Контрольный участок	текстовый	обозначение постоянных контрольных участков и пунктов наблюдения
НП	текстовый	ближайший населенный пункт
СПК	текстовый	принадлежность к сельскохозяйственному предприятию
Тип почвы	текстовый	тип почвы
Землепользование	текстовый	тип землепользования
МАЭД	числовой	мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД), мкЗв/ч
<sup>40</sup> K	числовой	удельная активность <sup>40</sup> K в почве, Бк/кг
<sup>226</sup> Ra	числовой	удельная активность <sup>226</sup> Ra в почве, Бк/кг
<sup>232</sup> Th	числовой	удельная активность <sup>232</sup> Th в почве, Бк/кг
<sup>90</sup> Sr	числовой	удельная активность <sup>90</sup> Sr в почве, Бк/кг
<sup>137</sup> Cs	числовой	удельная активность <sup>137</sup> Cs в почве, Бк/кг
Pb	числовой	концентрация свинца, мг/кг
Cd	числовой	концентрация кадмия, мг/кг
Zn	числовой	концентрация цинка, мг/кг
Cr	числовой	концентрация хрома, мг/кг
Cu	числовой	концентрация меди, мг/кг
Ni	числовой	концентрация никеля, мг/кг
Co	числовой	концентрация кобальта, мг/кг
Mo	числовой	концентрация молибдена, мг/кг
Mn	числовой	концентрация марганца, мг/кг
Fe	числовой	концентрация железа, мг/кг

Функционирование Ростовской АЭС обеспечивается работой четырех энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000: энергоблок № 1 запущен в 2001 г., № 2 – в 2010 г., № 3 – в 2015 г. и № 4 – в 2018 г. соответственно. Поэтому ведение радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения РАЭС в течение 18 лет дало возможность оценить влияние атомной электростанции на человека и окружающую среду при эксплуатации всех четырех энергоблоков. На основе всех атрибутивных данных в ГИС-проекте были созданы электронные карты пространственного распределения удельной активности техногенных и естественных радионуклидов, а также содержания тяжелых металлов в почве исследуемого региона Ростовской АЭС. За весь 18-летний период наблюдений содержание  $^{90}\text{Sr}$  в почве варьировало в достаточно узких пределах – 1,1-8,7 Бк/кг, а  $^{137}\text{Cs}$  – от 5,4 до 18,8 Бк/кг. Вариабельность данных по контрольным участкам и пунктам составляла 1,2-4,0 раза для  $^{90}\text{Sr}$  и 1,4-3,0 раза для  $^{137}\text{Cs}$ . Среднее содержание  $^{90}\text{Sr}$  в почве в регионе размещения РАЭС составляет 1,7-7,4 Бк/кг,  $^{137}\text{Cs}$  варьирует в пределах 7,5-14,9 Бк/кг. При этом нигде не было обнаружено трендов на увеличение содержания техногенных радионуклидов в отобранных почвенных образцах на всей рассматриваемой территории. Таким образом, начиная с 2001 г. ввод в эксплуатацию новых энергоблоков РАЭС не оказал

влияния на увеличение содержания техногенных радионуклидов в почвах агроэкосистем прилегающих к атомной электростанции территорий (рис. 2-3).

Диапазон вариации среднего содержания в почве естественных радионуклидов составляет: для  $^{40}\text{K}$  561-634 Бк/кг, для  $^{226}\text{Ra}$  23,4-27,5 Бк/кг, для  $^{232}\text{Th}$  32,7-35,9 Бк/кг. Мощность эквивалентных доз гамма-излучения на местности за годы исследований находилась в диапазоне 0,09-0,16 мкЗв/ч, при среднем значении 0,13 мкЗв/ч (рис. 4-7). Полученные результаты мониторинга хорошо согласуются как с данными из международных источников [5], так и с результатами российских исследований, проведенных в регионе Ростовской АЭС [6, 7].

Обследование агроэкосистем 30-километровой зоны Ростовской АЭС, находящихся в зоне воздействия выбросов атомной электростанции, показало, что содержание тяжелых металлов (ТМ) в почвах сельскохозяйственных угодий не превышает установленных ПДК. Концентрации ТМ в образцах почв исследуемого региона находятся ниже предела значений, установленных для 1-й группы суглинистых почв с  $\text{pH} > 5,5$ , что говорит об отсутствии рисков производства сельскохозяйственной продукции с превышением действующих санитарно-гигиенических нормативов в регионе размещения РАЭС. В качестве примера на рис. 8 представлена карта содержания свинца в пробах почвы.

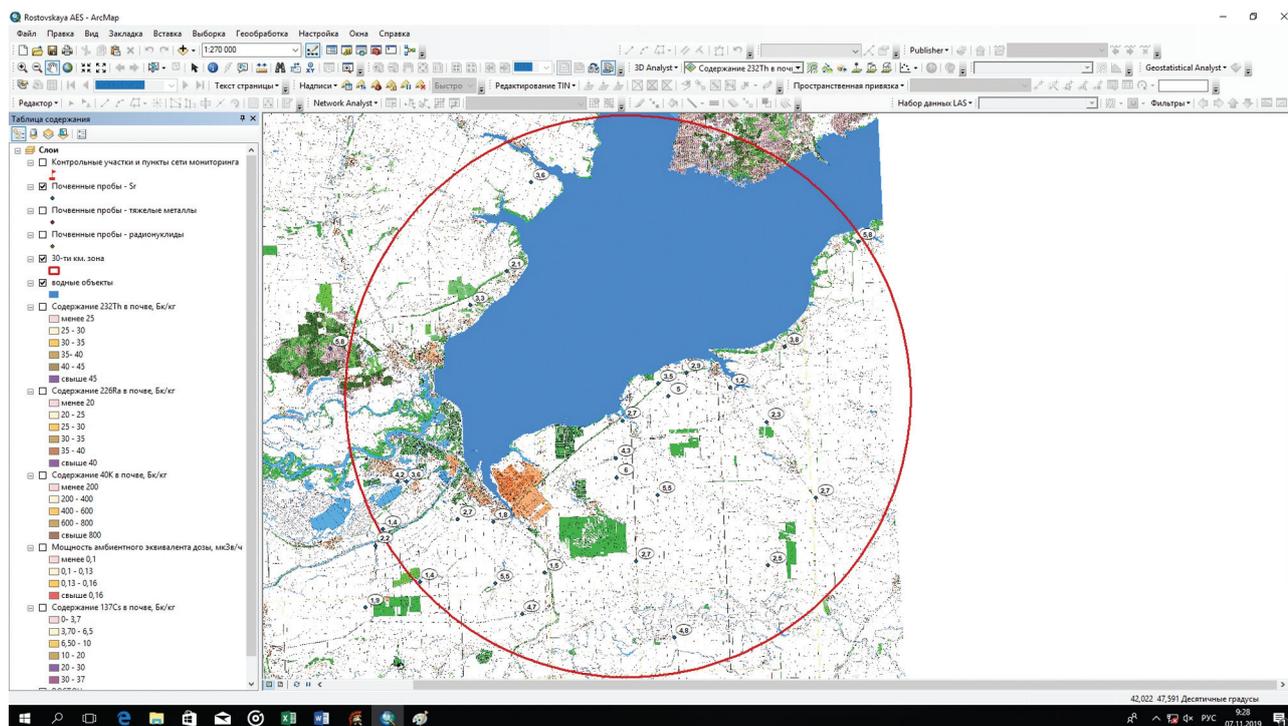


Рис. 2. Электронная карта «Удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в почве, Бк/кг»

Fig. 2. Electronic map «Specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  in soil, Bq/kg»

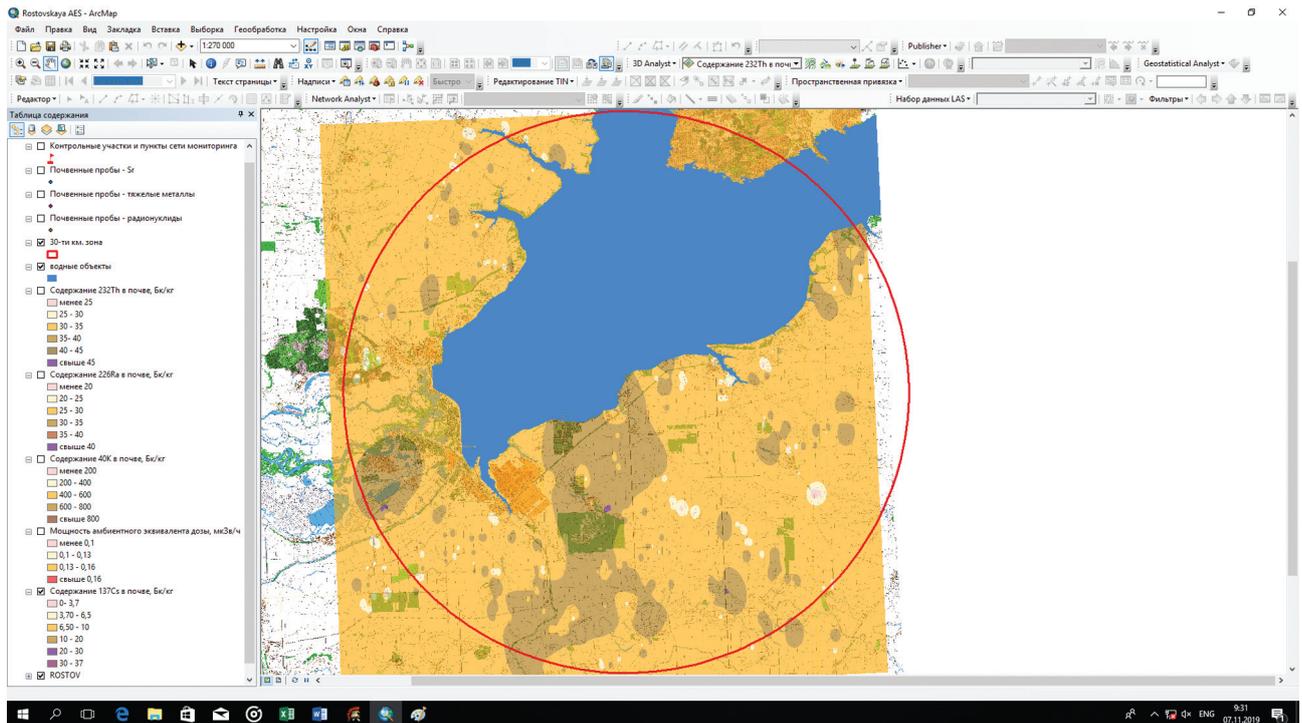


Рис. 3. Электронная карта «Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в почве, Бк/кг»

*Fig. 3. Electronic map «Specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in soil, Bq/kg»*

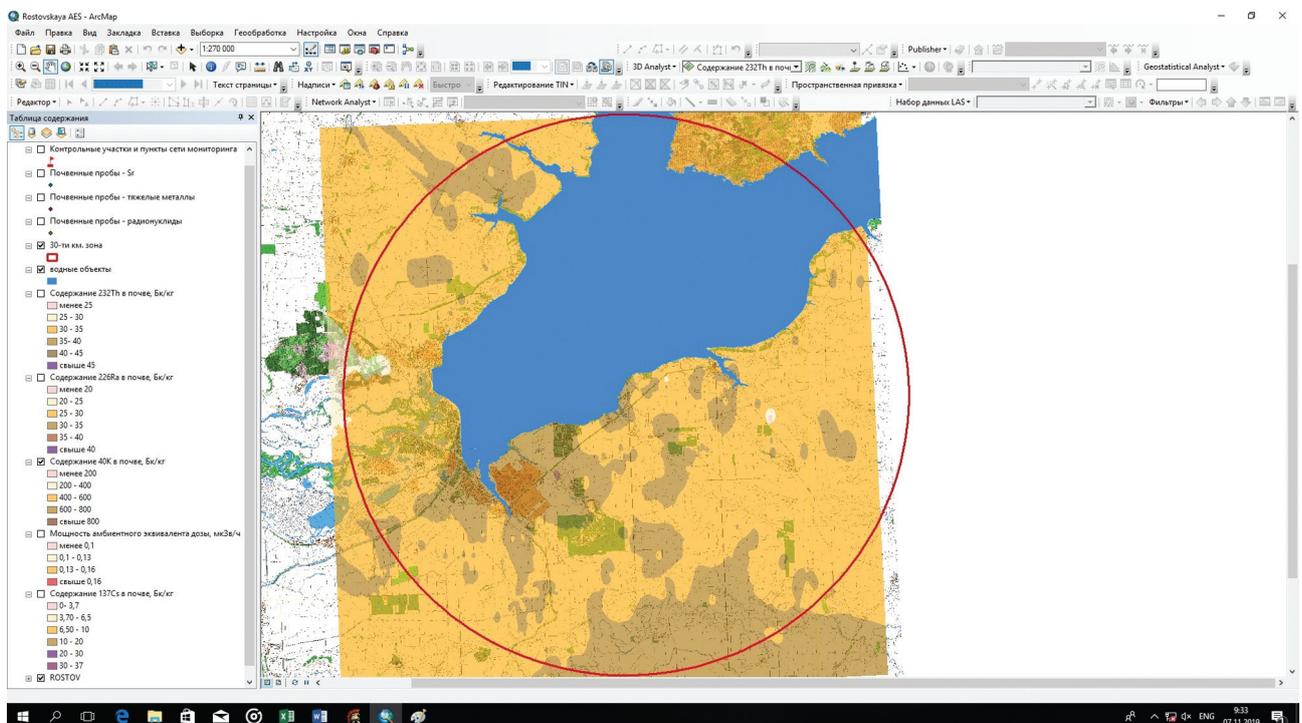


Рис. 4. Электронная карта «Удельная активность  $^{40}\text{K}$  в почве, Бк/кг»

*Fig. 4. Electronic map «Specific activity of  $^{40}\text{K}$  in the soil, Bq/kg»*

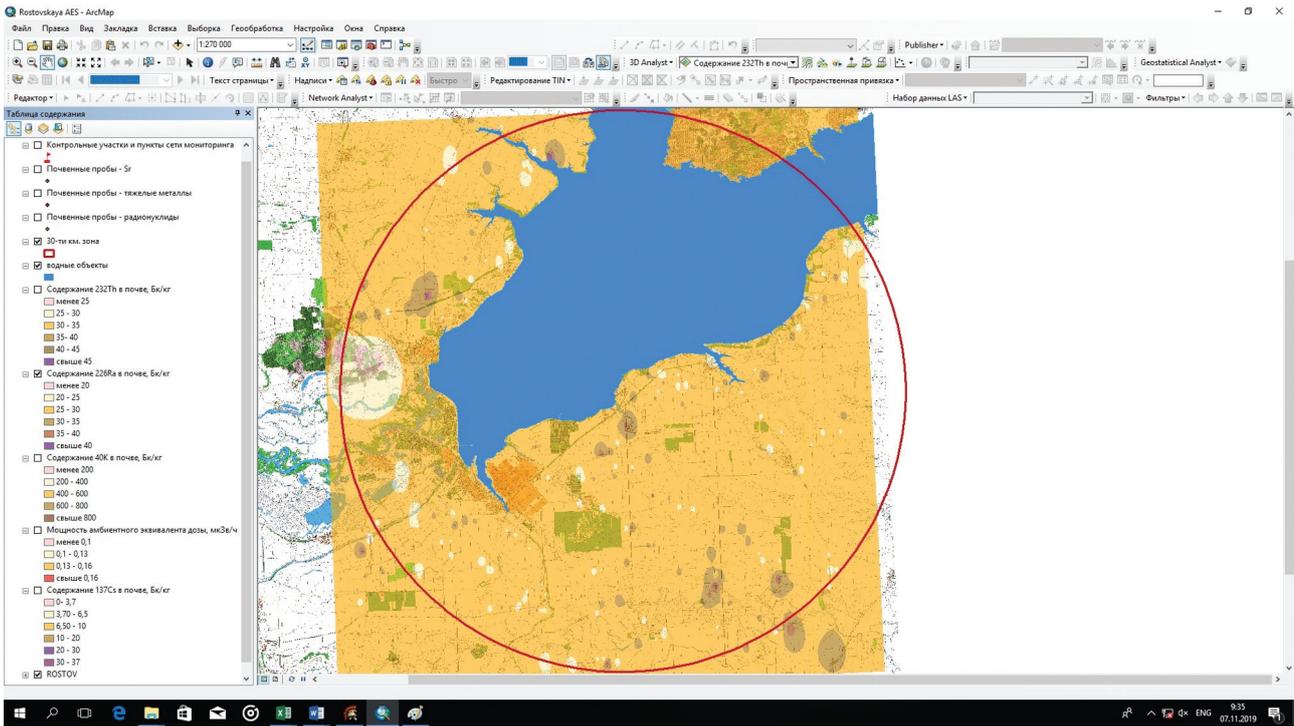


Рис. 5. Электронная карта «Удельная активность  $^{226}\text{Ra}$  в почве, Бк/кг»

*Fig. 5. Electronic map «Specific activity of  $^{226}\text{Ra}$  in soil, Bq/kg»*

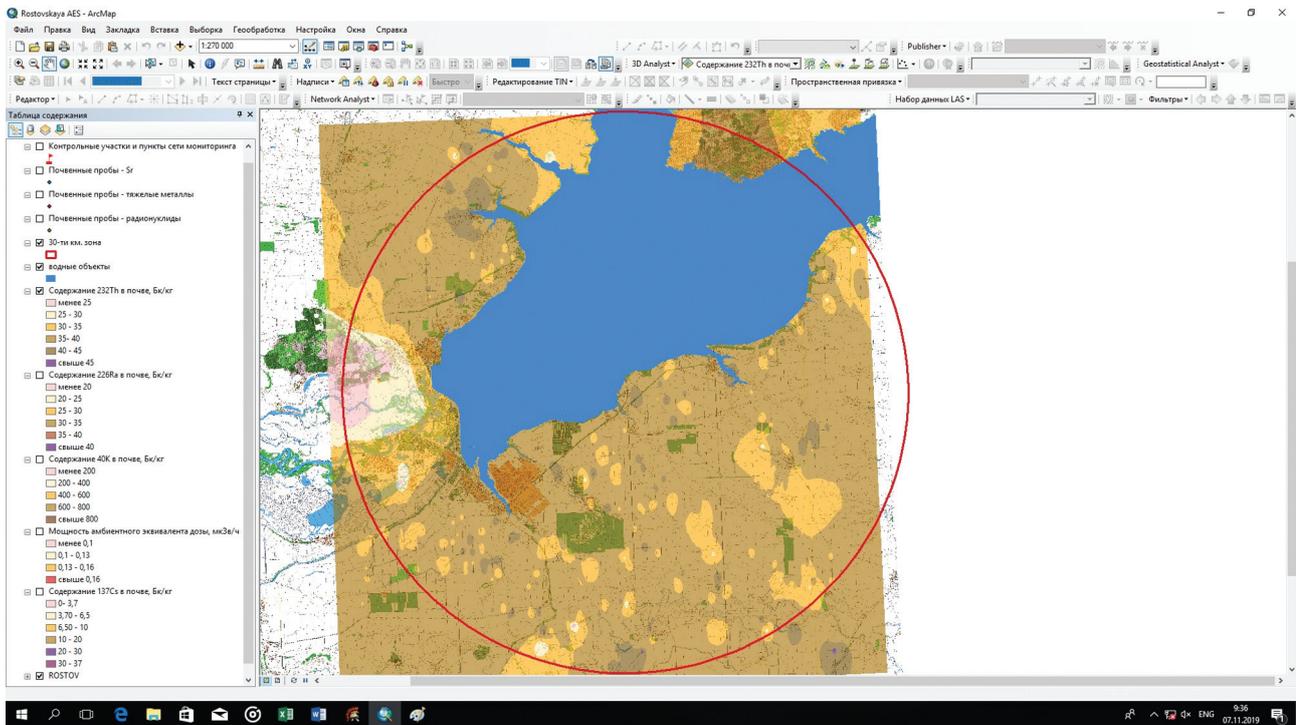


Рис. 6. Электронная карта «Удельная активность  $^{232}\text{Th}$  в почве, Бк/кг»

*Fig. 6. Electronic map «Specific activity of  $^{232}\text{Th}$  in soil, Bq/kg»*

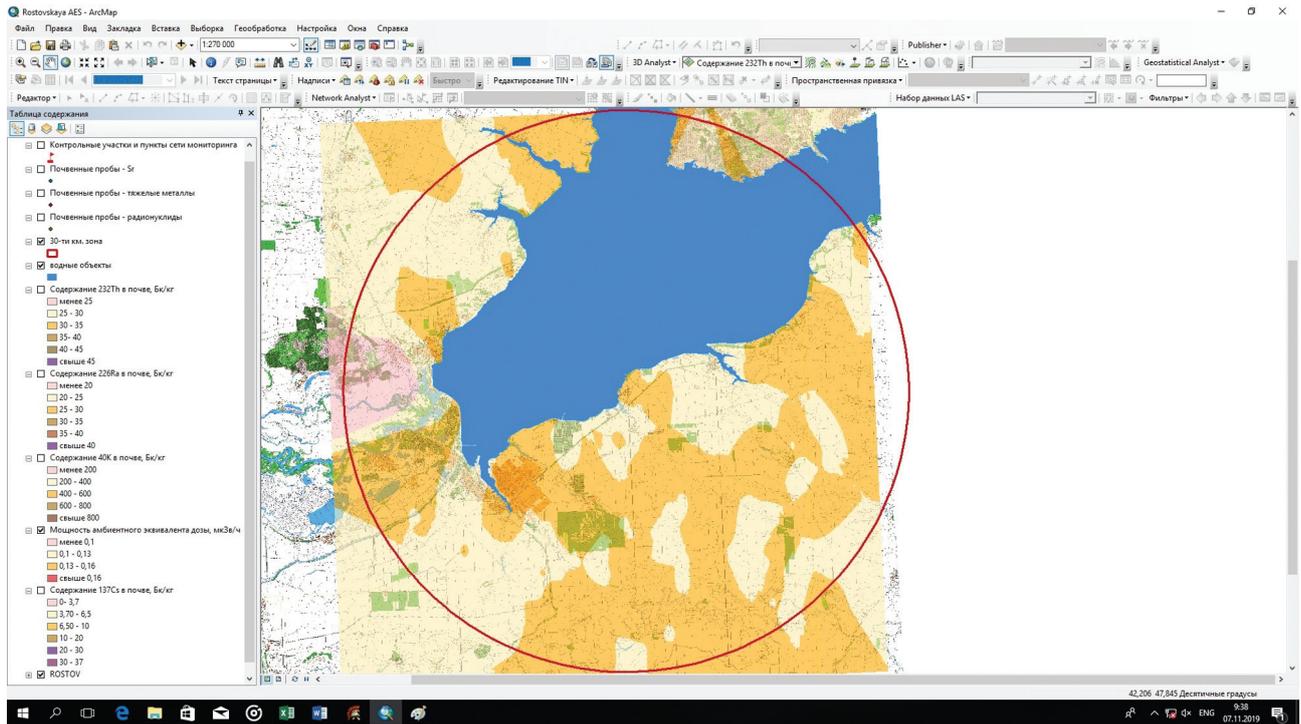


Рис. 7. Электронная карта «Распределение значений мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД), мкЗв/ч»

Fig. 7. Electronic map «Distribution of values of power of ambient dose equivalent (PADE), mkSv/h»

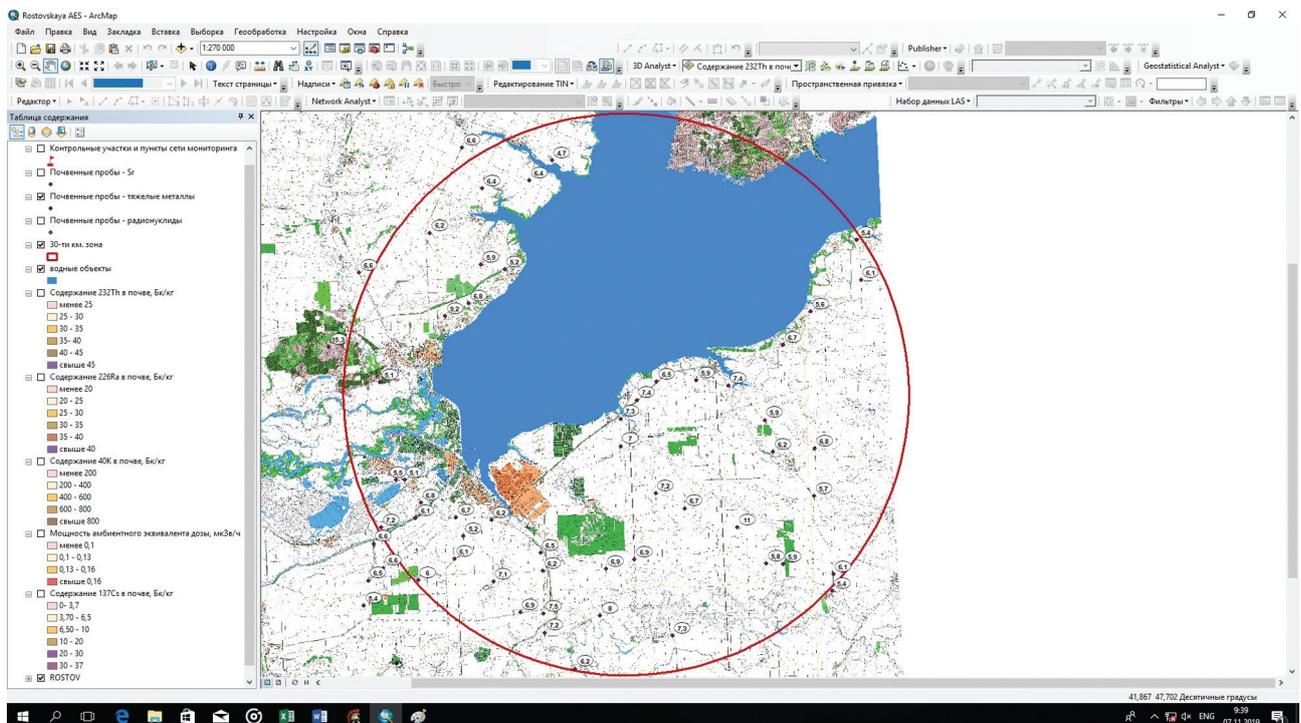


Рис. 8. Электронная карта «Содержание Рb в почве, мг/кг»

Fig. 8. Electronic map «Pb content in soil, mg/kg»

Таким образом, разработанный ГИС-проект наглядно отражает современное состояние почвенного покрова, системы землепользования и современную радиоэкологическую обстановку и может быть использован для оптимизации программы радиационно-экологического мониторинга и оценки радиоэкологической безопасности Ростовской АЭС в условиях ее эксплуатации в штатном режиме. Результаты визуализации радиоэкологических данных в рамках созданного ГИС-проекта обеспечат население и органы исполнительной власти конкретной и объективной информацией о безопасном проживании и ведении хозяйственной деятельности на данной территории.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант №18-19-00016).

**Ключевые слова:** ГИС-проект, радиационно-экологический мониторинг, Ростовская АЭС, наземные экосистемы, радиационная безопасность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Титов И.Е., Панов А.В., Кречетников В.В., Шубина О.А., Микаилова Р.А. Прикладные ГИС для поддержки радиационно-экологического мониторинга в регионах размещения ядерно- и радиационно-опасных объектов // Геоинформатика. – 2019. – № 2. – С. 12-16.
2. Радиационно-экологическая обстановка и социально-экономическое состояние региона Ростовской (Волгодонской) АЭС : информационный выпуск. – Обнинск : ГНУ ВНИИЭСХРАЭ, 2008. – 37 с.
3. NIMA Technical Report TR8350.2 [Electronic resource] // NGA : DoD World Geodetic System 1984 : Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems. – URL: [http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350\\_2.html](http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350_2.html) (date of access 12.10.2011).
4. Панов А.В., Исамов Н.Н., Кузнецов В.К. Радиационно-экологический мониторинг в регионе размещения Ростовской АЭС. Анализ результатов многолетних исследований // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2 (специальный выпуск). – С. 54-65.
5. Sources and Effects of Ionizing Radiation : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. – New York : UN, 2000. – V. 1: Sources. – Annex B. – P. 84-156.
6. Прокопенко С.И., Барковский А.Н., Голиков В.Ю., Калинина М.В., Соловьев М.Ю. Оценка радиационной обстановки в зоне наблюдения Волгодонской атомной электростанции за 2007-2009 гг. // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, № 3. – С. 47-50.
7. Шандала Н.К., Коренков И.П., Романов В.В. Состояние радиационно-гигиенической обстановки в районе размещения АЭС // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2015. – Т. 60, № 2. – С. 15-21.

#### REFERENCES

1. Titov I.E., Panov A.V., Krechetnikov V.V., Shubina O.A., Mikailova R.A. Applied GIS for supporting radioecological monitoring in the vicinity of nuclear and radiation hazardous facilities // Geoinformatika. 2019. No. 2. P. 12-16.
2. Radioecological situation and socio-economic condition in the vicinity of Rostov (Volgodonsk) NPP. Obninsk : VNIISHRAE, 2008. 37 p.
3. NIMA Technical Report TR8350.2 [Electronic resource] // NGA: DoD World Geodetic System 1984 : Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems. – URL: [http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350\\_2.html](http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350_2.html) (date of access: 12.10.2011).
4. Panov A.V., Isamov N.N., Kuznetsov V.K. Radioecological monitoring in the vicinity of Rostov NPP. The analysis of results of long-term investigations // Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2019. V. 12, Issue 2 (special issue). P. 54-65. URL: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-2s-54-65> (date of access: 12.10.2011).
5. Sources and Effects of Ionizing Radiation : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. New York : UN, 2000. V. 1: Sources. Annex B. P. 84-156.
6. Prokopenko S.I., Barkovsky A.N., Golikov V.Y., Kalinina M.V., Soloviev M.Y. Evaluation of the radiation situation in the observation area of the Volgodonsk nuclear power plant during 2007-2009 // Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2010. V. 3, Issue 3. P. 47-50.
7. Shandala N.K., Korenkov I.P., Romanov V.V. Radiation Situation at the NPP Area // Medical Radiology and Radiation Safety. 2015. V. 60, Issue 2. P. 15-21.