

06.01.02 Мелиорация, рекультивация и охрана земель

Оригинальная статья

УДК 502/504:631.4:004.94

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-6-14

**ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СИСТЕМА
ОТОБРАЖЕНИЯ СУММАРНОГО ХИМИЧЕСКОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ**

КАРПЕНКО НИНА ПЕТРОВНА , д-р техн. наук, доцент
npkarpenko@yandex.ru

ШИРЯЕВА МАРГАРИТА АЛЕКСАНДРОВНА, студентка
margaretshiryeva@gmail.com

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Москва, Тимирязевская, 49. Россия

Цель исследования заключается в создании и оптимизации трехмерных моделей по категориям суммарного загрязнения почв в системе компьютерного моделирования. Разработана методика построения трехмерной модели в системе компьютерного моделирования MathCad и Autodesk 3ds Max по категориям суммарного загрязнения почв. Разработаны блок визуализации и аналитический блок, которые базируются на расчетных математических моделях анализа и оценки экологической ситуации, рисков, экологической безопасности территории. Построены трехмерные модели рельефного отображения поймы реки Пехорка путем интегрирования с помощью среды программирования и оптимизированных программ 3D-моделирования. Построены трехмерные модели с суммарным загрязнением почв по участкам водного объекта. На примере некоторых участков водосборной территории реки Пехорка в Балашихинском районе созданы модели с загрязнением почв по суммарному показателю Zс. Разработка методики 3D-моделирования позволяет создавать прогнозные сценарии более точно с высокой степенью детальности, а также оперативно подходить к решению экологическим проблем. Оптимизация трехмерного моделирования водосборных территорий, способствует дальнейшему оперативному решению задач рационального использования земель и улучшению экологической ситуации.


Ключевые слова: трехмерные модели, суммарное загрязнение, почвы, прогнозные сценарии, экологическая ситуация

Формат цитирования: Карпенко Н.П., Ширяева М.А. Трехмерное моделирование как система отображения суммарного химического загрязнения почв // Природообустройство. – 2021. – № 1. – С. 6-14. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-6-14.

© Карпенко Н.П., Ширяева М.А., 2021

Original article

**THREE-DIMENSIONAL MODELING AS A SYSTEM
FOR DISPLAYING TOTAL CHEMICAL SOIL POLLUTION**

KARPENKO NINA PETROVNA , doctor of technical sciences, associate professor
npkarpenko@yandex.ru

SHIRYAEVA MARGARITA ALEXANDROVNA, a student

margaretshiryeva@gmail.com

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Timiryazevskaya Str, 49; Moscow, Russia

The method of three-dimensional model in the system of computer modeling MathCad and Autodesk 3ds Max by categories of total soil pollution is developed. A visualization block and an analytical block have been developed which are based on calculated mathematical models for analyzing and evaluating the environmental situation, risks, and environmental safety of the territory. Three-dimensional models of relief mapping of the Pekhorka river floodplain are constructed by integrating them with the help of a programming environment and optimized 3D modeling programs. Three-dimensional models with total soil contamination for water body sections are constructed. On the example of some sections of the catchment area of the Pekhorka river in the Balashikha region, models with soil contamination by the total ZC indicator were created. The development of 3D modeling techniques allows you to create predictive scenarios more accurately with a high degree of detail, as well as quickly approach the solution of environmental problems. Optimization of three-dimensional modeling in the field of problems related to the catchment area contributes to the further operational solution of problems of rational land use and improvement of the environmental situation.

Keywords: three-dimensional model, total pollution of the soil, forecast scenarios and environmental conditions

Format of citation: Karpenko N.P., Shiryayeva M.A. Three-dimensional modeling as a system for displaying total chemical pollution of soils. // Prirodobustrojstvo. – 2021. – № 1. – С. 6-14. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-6-14.

Введение. В настоящее время вопросы снижения экологической безопасности окружающей среды и пути ее повышения приобретают все большую актуальность [1].

Трехмерное моделирование (3D-моделирование) обнаруживает взаимодействие различных компонентов природной среды, а также влияние на них техногенных источников и закономерности распространения загрязнений с учетом рельефа. Этим объясняется высокая востребованность трехмерных моделей в современных географических, мелиоративных и экологических исследованиях. Возможности послойного представления данных, традиционно свойственные двумерной картографической продукции, создаваемой в ГИС, сохраняются и при переходе к трехмерному моделированию [2]. Создаются цифровые модели – такие, как модель формирования участка и модель распределения загрязнения. Пространственная информация и распределение загрязняющих веществ могут быть четко получены и интуитивно понятно, что обеспечивает основу для принятия решений и планирования исследования объекта [3, 4].

3D-моделирование может стать важнейшим инструментом для решения задач эколого-мелиоративного мониторинга, в том числе агроэкомониторинга, включающего в себя и решение задач радиоэкологической безопасности, где основной принцип

обеспечения безопасности населения, проживающего в зоне радиационного загрязнения, является система радиоэкологических требований в вопросах ведения сельского хозяйства на орошаемых землях. Такая система требует комплексный теоретико-технологический подход, связанный с разработкой оперативной информационно-функциональной и прогнозно-диагностической аналитической системы для автоматизированного регулирования составляющих радиационного баланса агроэкосистем [5, 6].

На стадии инженерно-экологических изысканий проводятся исследования загрязнения грунтов тяжелыми металлами и органическими токсикантами на глубину планируемого использования пространства. Использование методов 3D-моделирования для вычисления объемов грунтов разных категорий опасности позволяет визуально оценить зоны распространения загрязненных почв и вычислить их объемы.

Разработка и использование пространственных моделей антропогенного загрязнения природных компонентов окружающей среды, техногенных воздействий на среду обусловлены стремлением повысить точность и наглядность результатов. Целесообразность трехмерных моделей в мелиорации и экологии объясняется балансом между реальными событиями и возможными прогнозными сценариями.

Цель исследования заключается в создании и оптимизации трехмерных моделей по категориям суммарного загрязнения почв в системе компьютерного моделирования MathCad и Autodesk 3ds Max. В данной работе рассматривается не только блок визуализации, но и аналитический блок, базирующийся на расчетных математических моделях анализа и оценки экологической ситуации, рисков, экологической безопасности территории.

Материал и методы. Трехмерное моделирование позволяет отображать в объеме не только существующие, но и спроектированные объекты и области. Моделирование в информационном обеспечении проектных инженерно-экологических решений происходит в два этапа: подготовительный и расчетно-аналитический. Первый этап включает в себя аналоговую фазу двумерного проектирования. Данный этап требует полного комплекта необходимых данных, в том числе аэрофотосъемки или дистанционного зондирования, а также данные полевых исследований. Второй этап предполагает проведение расчетов параметров и построение итоговой 3D-модели.

Особенностью проектных задач является оптимизация еще не реализованного решения на основе построения трехмерных моделей. Мониторинг результатов на этом этапе особенно важен, так как позволяет уменьшить количество ошибок

проектирования без заметного увеличения стоимости проекта. В любом случае общая стоимость создания 3D-моделей значительно меньше стоимости модификации существующего объекта. Трехмерная виртуальная модель позволяет визуально контролировать и оптимизировать проектные решения с учетом местности, геодезических данных, существующей и планируемой инфраструктуры, изменения ландшафтов, сценария поступлений загрязняющих веществ и т.д.

Трехмерные проекты в сочетании с трехмерной моделью территории дают представление о том, как конкретные изменения могут повлиять на состояние исследуемых объектов. Принципиальная модель исследования состоит из трех частей (рис. 1).

В составе схемы технологии последовательности процесса интеграции данных лежат следующие блоки:

- блок сбора исходной природной информации по антропогенным воздействиям по участку исследования;
- блок формирования двумерной модели на основе геодезических и инженерно-геологических изысканий;
- блок формирования трехмерной модели рельефа исследуемого участка;
- блок нанесения слоя загрязнения почв на 3D-модель.

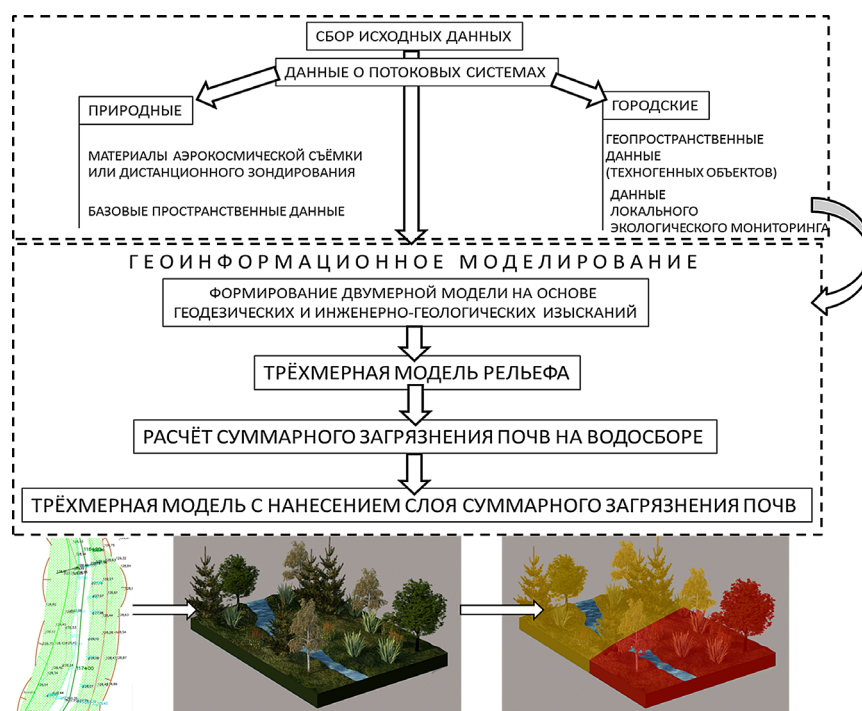


Рис. 1. Принципиальная схема технологии последовательности процесса интеграции данных

Fig. 1. Basic diagram of the technology of sequencing process of data integration

Исследуемый массив, приуроченный к водосбору реки Пехорка, находится в южно-таежной зоне дерново-подзолистых, подзолисто-бурых и бурых лесных почв, фрагментами здесь в пределах ранее распахиваемых земель отмечаются и серые лесные почвы. Специфика исследуемой территории обусловила преобладание гидроморфных почв на отдельных участках массива обследования.

К особенностям почвенного покрова указанной площади следует отнести отсутствие такого признака, как подзолистый горизонт, часто присущий данной зоне. К наиболее характерным чертам выделенных почв также относятся облегченный механический состав (в основном супесчаный и песчаный), отсутствие засоления. Характерным неблагоприятным фактором в почвенном покрове почти на всем протяжении объекта исследования является заболачиваемость, в отдельных случаях – даже практическое отсутствие русла. Под воздействием антропогенного фактора фрагментами отмечено возникновение техногенных поверхностных образований (ТПО). Оценка химического и органического загрязнения почв и ТПО проводилась в прибрежной полосе русла реки Пехорка городского округа Балашиха Московской области [7, 8].

Основными источниками загрязнения почв в Подмосковье являются автомобильный

и железнодорожный транспорт, промышленные объекты, несанкционированные свалки, осадки бытовых и сточных вод, привозной загрязненный несертифицированный грунт для озеленения и благоустройства. Химическое загрязнение представляет собой накопление в почвах и ТПО химических веществ антропогенного и техногенного происхождения в количествах, представляющих опасность для живых организмов. Основным критерием гигиенической оценки опасности загрязнения почв и ТПО вредными веществами является предельно-допустимая концентрация (ПДК) химических веществ и их фоновое содержание. ПДК – комплексный показатель безвредного для человека содержания химических веществ.

Оценка экологического состояния почв и ТПО представлена в сравнении с ПДК и «фоном», за который принято относительно удовлетворительное и благополучное экологическое состояние исследуемой территории, не подвергшейся техногенному воздействию, или испытывающей его в минимальной степени. Оценка химического загрязнения почв и ТПО проводилась по 6 элементам подвижных форм тяжелых металлов: свинцу, кадмию, цинку, меди, никелю, кобальту и валовому содержанию по 1 элементу – мышьяку. Допустимые концентрации некоторых элементов в образцах почвы представлены в таблице 1.

Таблица 1

Ориентировочно-допустимые и предельно допустимые концентрации химических веществ в почве (валовое содержание) [9, 10]

Table 1

Estimated and maximum allowable concentrations of chemicals in the soil (gross content) [9, 10]

№	Наименование <i>Name</i>	Формула <i>Formula</i>	Величина ПДК/ОДК (мг/кг) <i>Value PDK (max allowable concentrations /ODK (estimated allowable concentrations) (mg/kg)</i>
1	Кадмий <i>Cadmium</i>	Cd	2,0
2	Кобальт <i>Cobalt</i>	Co	5,0
3	Медь <i>Copper</i>	Cu	132
4	Мышьяк <i>Arsenic</i>	As	10
5	Никель <i>Nickel</i>	Ni	80
6	Свинец <i>Lead</i>	Pb	130
7	Цинк <i>Zinc</i>	Zn	220

Были отобраны и подготовлены образцы почв по анализу на вакуумном волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре «Спектроска и Макс-Г», который предназначен для определения содержаний химических элементов от Na до U в различных веществах. В ходе лабораторных исследований было определено валовое содержание необходимых элементов. По фактическому содержанию тяжелых металлов определялись коэффициент опасности (K_o), коэффициент концентрации химического вещества (K_{ci}) и суммарный показатель загрязнения (Z_c). Расчет K_{ci} определялся отношением фактического содержания химического вещества в почвах и ТПО (C_i) в мг/кг к фоновому региональному уровню ($C_{\phi i}$) мг/кг, то есть к содержанию элементов, близких к нормальным по формуле [11, 12, 13]:

$$K_{ci} = C_i / C_{\phi i} \quad (1)$$

Суммарный показатель загрязнения (Z_c), который характеризует степень химического загрязнения почв и ТПО на водосборе р. Пехорка, определяется как сумма коэффициентов концентраций отдельных элементов загрязнения. Суммарный показатель загрязнения вычислялся по формуле [14, 15]:

$$Z_c = K_{c1} + K_{c2} + \dots + K_{ci} + K_{cn} - (n - 1). \quad (2)$$

Результаты исследований и их обсуждение. В ходе работы были получены план водосборной площади с отметками высот и выделенными границами поймы, трехмерная модель рельефа и трехмерная модель с нанесенным слоем загрязнения почв по суммарному показателю Z_c .

Инженерно-топографический план был построен в программах AutoCad 2016, в программном продукте GeoniCS (рис. 2).

В программную среду импортировались геологические и геодезические данные в базу данных. В модуле ТОПОПЛАН был выделен рельеф. С помощью топографических классификаторов подбирались необходимые линейные и точечные знаки. Далее строилась трехмерная модель рельефа с помощью примитивов и базы данных в модуле ГЕОМОДЕЛЬ, и с помощью дополнительных инструментов в программе AutoCad нанесены недостающие составляющие (рис. 3).

Полученные результаты по индексам загрязнения почв, согласно проведенным

расчетам, делились на категории, и каждой категории присваивался свой цвет (табл. 2).

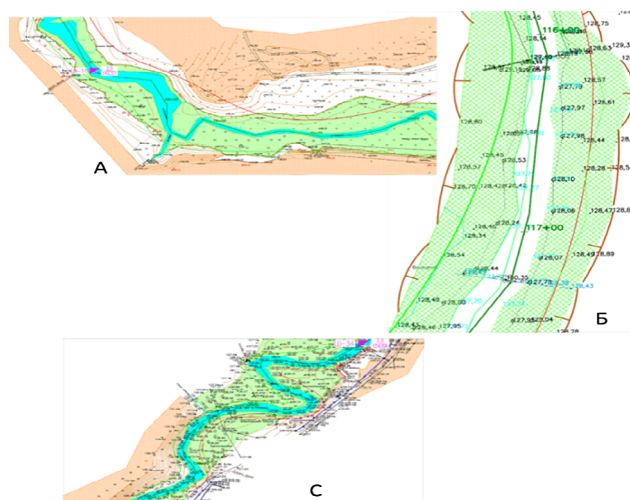


Рис. 2. Инженерно-топографические планы по участкам реки Пехорка: А – ПК 07+00-11+00; Б – ПК 116+00-118+00; С – ПК136+00-138+00

Fig. 2. Engineering and topographic plans for sections of the Pekhorka River: А – ПК 07+00-11+00, Б – ПК 116+00-118+00, С – ПК136+00-138+00

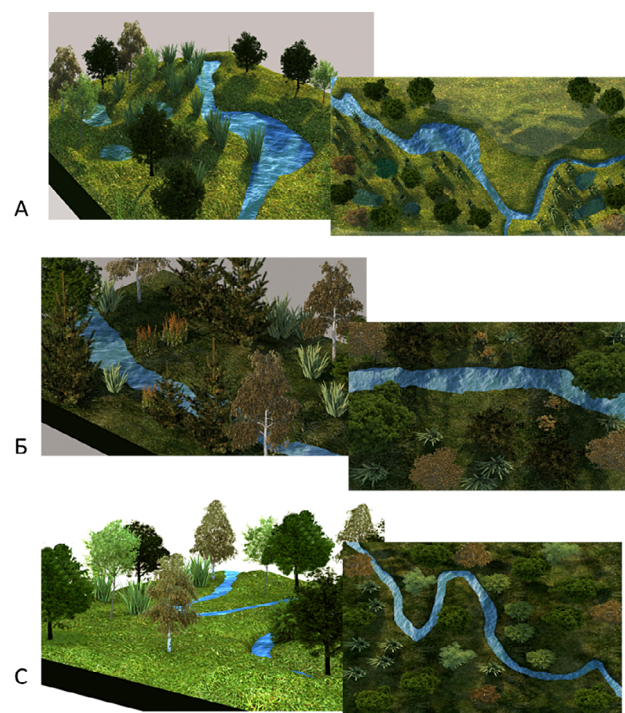


Рис. 3. Трехмерные модели поймы реки Пехорка по участкам: А – ПК 07+00-11+00; Б – ПК 11+00-118+00; С – ПК136+00-138+00

Fig. 3. Three dimensional models of the Pekhorka river floodplain on sections: А – ПК 07+00-11+00, Б – ПК 116+00-118+00, С – ПК136+00-138+00

Слой суммарного загрязнения был нанесен с помощью интегрирования расчетов из про-

граммной среды Python 3 в готовую трехмерную модель, перенесенную в Autodesk 3dsMax (рис. 4).

Таблица 2

Классификация категорий химического загрязнения почв согласно санитарно-эпидемиологическим требованиям к качеству почвы по критерию Z_c на водосборе реки Пехорка

Table 2

Classification of categories of chemical soil pollution according to sanitary and epidemiological requirements for soil quality according to the criterion Z_c on the Pehorka river catchment

№ категории <i>Category No</i>	Категория <i>Category</i>	Степень загрязнения <i>Degree of pollution</i>	Значение Z_c <i>Value Z_c</i>
1	Допустимая <i>Permissible</i>	Слабое <i>Weak</i>	3-8
2	Допустимая <i>Permissible</i>	Среднее <i>Weak</i>	8-16
3	Умеренно-опасная <i>Moderately dangerous</i>	Среднее <i>Medium</i>	8-16
4	Опасная <i>Dangerous</i>	Среднее <i>Medium</i>	16-32
5	Опасная <i>Dangerous</i>	Сильное <i>Strong</i>	32-64
6	Опасная <i>Dangerous</i>	Очень сильное <i>Very strong</i>	64-128
7	Чрезвычайно опасная <i>Extremely dangerous</i>	Очень сильное <i>Very strong</i>	128-155

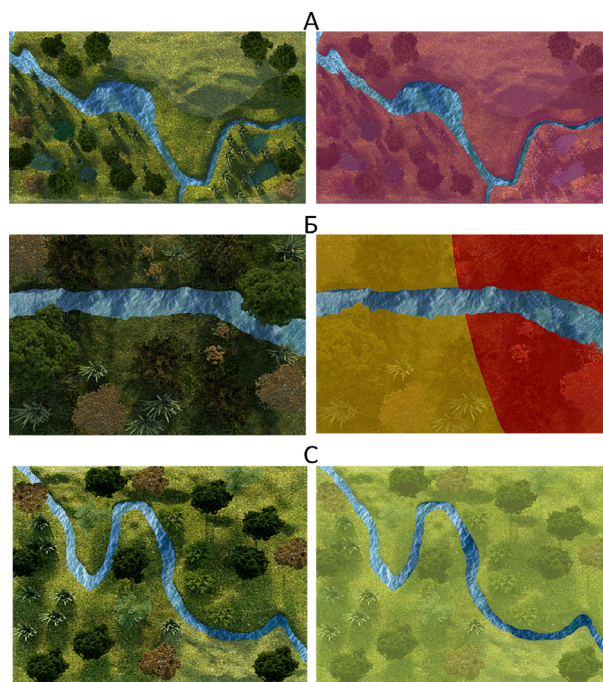


Рис. 4. Трехмерные модели рельефа и модели с интегрированным слоем загрязнения почв:

А – ПК 07+00-11+00 (категория опасная, очень сильное загрязнение);

Б – ПК 116+00-118+00 (категория умеренно опасная и опасная, среднее и сильное загрязнение);

С – ПК136+00-138+00 (категория допустимая, слабое загрязнение)

Fig. 4. Three-dimensional relief models and models with an integrated layer of soil pollution:

А – ПК 07-00-11-00 (category is dangerous, very strong pollution),

Б – ПК 116-00-118-00 (categories are moderately dangerous and dangerous, medium and strong pollution),

С – ПК 136+ 00-138+00 (category is permissible, weak pollution)

В результате выполненного 3D-моделирования по участкам водосбора р. Пехорка было получены градации Z_c с различной степенью и детальностью загрязнения (табл. 3).

Таблица 3

Градации различной степени загрязненности почв с характеристикой их загрязнения по участкам р. Пехорка

Table 3

Gradations of different degrees of soil contamination with the characteristics of their contamination in the areas of the Pekhorka river

$Z_c = 3-8$	Локальные загрязнения: кадмиевое, цинковое, медное, никелевое, кобальтовое минимальной и слабой интенсивности <i>Local pollutions: cadmium, zinc, copper, nickel, cobalt of minimal and weak intensity</i>
$Z_c = 8-16$	Слабое свинцово-цинковое загрязнение, минимальное медное и кобальтовое загрязнение слабой интенсивности <i>Weak lead – zinc pollution: minimal copper and cobalt pollution of weak intensity</i>
$Z_c = 16-32$	Сильное никелевое и минимальное цинковое загрязнение. На преобладающей территории водосборной площади очень сильное свинцово-цинково-медное загрязнение и слабое кобальтовое. В местах сброса сточных вод с очистных сооружений и предприятий выявлено очень сильное медное загрязнение, слабое свинцовое и минимальное кобальтовое <i>Strong nickel and minimal zinc pollution. Very strong lead-zinc-copper pollution and weak cobalt pollution on the prevailing territory of the catchment area. In the places of waste water discharge from treatment plants and enterprises there is revealed very strong copper pollution, weak lead and minimal cobalt pollution.</i>
$Z_c = 32-64$	Очень сильное свинцово-кадмиево- медное и слабое цинко-никелевое загрязнение, кобальтовое минимальное <i>Very strong lead-cadmium-copper and weak zinc – nickel pollution, cobalt – minimal</i>
$Z_c = 64-128$	Очень сильное свинцово-цинково-медное загрязнение и сильное кобальтовое <i>Very strong lead – zinc – copper pollution and strong cobalt pollution</i>
$Z_c = 128-155$	Очень сильное свинцовое, кадмиевое, цинковое и медное загрязнение. Содержание свинца аномально высокое <i>Very strong lead, cadmium, zinc and copper pollution. Lead content is abnormally high</i>

Согласно данным таблицы 4 категории суммарного загрязнения почв зависят не только от индекса загрязнения Z_c , но и от степени антропо-техногенного воздействия и нанесения ущерба, выражаемого в степени загрязнения от слабого до очень сильного.

Выводы

Разработана методика построения трехмерной модели по категориям суммарного загрязнения почв в системе компьютерного моделирования MathCad и Autodesk 3ds Max. В составе методики выполнены блок визуализации и аналитический блок, которые базируются на расчетных математических моделях анализа и оценки экологической ситуации, рисков, экологической безопасности территории.

Построены трехмерные модели рельефного отображения поймы реки Пехорка,

а также путем интегрирования с помощью среды программирования и оптимизированных программ 3D-моделирования построены трехмерные модели с суммарным загрязнением почв по участкам водного объекта.

На примере некоторых участков водосборной территории реки Пехорка в Балашихинском районе созданы модели с загрязнением почв по суммарному показателю Z_c .

Предложенная методика позволяет создавать прогнозные сценарии, наиболее четко и оперативно подходить к решению экологических проблем. Трехмерное моделирование позволяет решать задачи по снижению антропогенной нагрузки на водосборных территориях, а также в области вопросов рационального использования земель и улучшения экологической ситуации.

Библиографический список

1. Карпенко Н.П., Ширяева М.А. Гидрогеоэкологическое обоснование размещения техногенной нагрузки с использованием

References

1. Karpenko N.P. Shiryayeva M.A. Hydrogeoeocologicheskoe obosnovanie razmeshcheniya tehnogennoj nagruzki s ispolzovaniem

синтезированных карт естественной защищенности грунтовых вод // Природообустройство. – 2020. – № 3. – С. 114-122.

2. **Трубина Л.К., Хлебникова Т.А., Николаева О.Н.** Методические подходы к созданию 3d-моделей для исследования экологического состояния городских территорий // География и природные ресурсы. – 2017. – № 2. – С. 199-205.

3. ShijieLi, WeiliXi, ChaoLiandTao Bi. Study on pollutant model construction and three-dimensional spatial interpolation in soil environmental survey. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 467. – 2020. – P. 1-9.

4. **Fan Bin, Sun Lingling.** Industrial enterprise pollution site investigation and risk assessment. Environment and Development 30 (04). – 2018. – P. 255-256.

5. **Карпенко Н.П.** Агроэкологический мониторинг орошаемых земель в зонах радиационного загрязнения // Сб. статей Международной научно-практ. конф. «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность-2019» (23-26 сентября 2019 г.). – Севастополь: ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 2019. – С. 752-756.

6. **Карпенко Н.П., Кирейчева Л.В.** Цифровые технологии и средства контроля для автоматизированного регулирования радиационного баланса агроэкосистем // Природообустройство. – 2020. – № 2. – С. 25-32.

7. **Рыжова Л.В., Гендлер С.Г., Титова Т.С.** Особенности проведения экологического мониторинга почвогрунтов при сооружении объектов метрополитена в мегаполисах // Безопасность жизнедеятельности. – 2019. – № 3. – С. 31-35.

8. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. – М.: 2012. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200096789>.

9. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. – М.: Госстрой, 1997. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/871001220>.

10. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федеральный закон Российской Федерации от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/.

11. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. – М.: 2006. – URL: http://snipov.net/c_4655_snip_110042.html.

12. ГН 2.1.72511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических

синтезированных карт естественной защищенности грунтовых вод // Природообустройство. – 2020. – № 3. – С. 114-122.

2. **Trubina L.K., Khlebnikova T.A., Nikolaeva O.N.** Metodicheskie podhody k sozdaniyu 3d-modelej dlya issledovaniya ekologicheskogo sostoyaniya gorodskih territorij // Geographiya i prirodnye resursy. – 2017. – No. 2. – S. 199-205.

3. **Shijie Li, Weili Xi, ChaoLi, Tao Bi.** Study on pollutant model construction and three-dimensional spatial interpolation in soil environmental survey. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 467. – 2020. – S. 1-9.

4. **Fan Bin, Sun Lingling.** Industrial enterprise pollution site investigation and risk assessment. Environment and Development 30(04). – 2018. – S. 255-256.

5. **Karpenko N.P.** Agroecologicheskyy monitoring oroshaemyh zemel v zonah radiatsionnogo zagryazneniya. / Sb. statej mezhdun. nauchno-prakt. "Ecologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost". – 2019, 23-26 sentyabrya, 2019. – Sevastopol: FGOU VO "Sevastopolsky gosudarstvenny universitet" – 2019. – S. 752-756.

6. **Karpenko N.P., Kireicheva L.V.** Tsi-frovye tehnologii i sredstva kontrolyadlya avtomatizirovannogo regulirovaniya radiatsionnogo balansa agroekosistem // Prirodobustrojstvo. – 2020. – No. 2. – S. 25-32.

7. **Ryzhova L.V., Gendler S.G., Titova T.S.** Osobennosti provedeniya ekologicheskogo monitoringa pochvo-gruntov pri sooruzhenii objektov metropolitena v megapolisah // Bezopasnost zhiznedeyatelnosti. 2019. – S. 31-35.

8. СП 47.13330.2012. Inzhenernye izyskaniya dlya stroitelstva. Osnovnye polozheniya. – М.: 2012. <http://docs.cntd.ru/document/1200096789>.

9. СП 11-102-97. Inzhenerno-ekologicheskije izyskaniya dlya stroitelstva. – М.: Gosstroj, – 1997. <http://docs.cntd.ru/document/871001220>.

10. Federalny zakon Rissijskoj Federatsii No. 52-FZ ot 30 marta 1999 g. "O sanitarno-epidemiologicheskome blagopoluchii naseleniya". http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/

11. GN2.1.7.2041-06 Predelno dopustimye kontsentratsii (PDK) himicheskikh veshchestv v pochve. – М.: 2006. http://snipov.net/c_4655_snip_110042.html

12. GN2.1.72511-09. Orientirovochno dopustimye kontsentratsii (ODS) himicheskikh veshchestv v pochve. – М.: 2009. GN2.1.72511-09. http://snipov.net/c_4655_snip_55917.html.

веществ в почве. – М.: 2009. – URL: http://snipov.net/c_4655_snip_55917.html.

13. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. – М.: 2003. – URL: http://snipov.net/c_4655_snip_103890.html.

14. МУ 2.1.7.730-99. Методические указания. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. – М.: 2003. – URL: http://snipov.net/c_4655_snip_99446.html.

15. О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами: письмо Минприроды РФ от 27 декабря 1993 г. – URL: http://snipov.net/c_4654_snip_102964.html.

Критерии авторства

Карпенко Н.П., Ширяева М.А. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Карпенко Н.П., Ширяева М.А. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию: 14.12.2020 г.

Одобрена после рецензирования 11.01.2021 г.

Принята к публикации 14.01.2021 г.

13. SANPiN 2.1.7.1287-03. Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k kachestvu pochvy. – М.: 2003. http://snipov.net/c_4655_snip_103890.html.

14. МУ 2.1.7.730-99. Metodicheskie ukazaniya. Pochva, ochistka naselennyh mest, bytovye promyshlennye othody, sanitarnaya ohrana pochvy. – М.: 2003. http://snipov.net/c_4655_snip_99446.html.

15. О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. – Pisjmo Minprirody RF № 04-25/61-5678 ot 27.12.1993 г. http://snipov.net/c_4654_snip_102964.html.

Criteria of Authorship

Karpenko N.P., Shiryayeva M.A. performed theoretical studies, on the basis of which they conducted a generalization and wrote the manuscript. Karpenko N.P., Shiryayeva M.A. have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 14.12.2020

Approved after reviewing 11.01.2021

Accepted for publication 14.01.2021

Оригинальная статья

УДК 502/504:631.171:004.94

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-14-22

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙРОПРОГНОЗИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ

КАМЫШОВА ГАЛИНА НИКОЛАЕВНА, канд. физико-математических наук, доцент
gkamichova@mail.ru

Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова; 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1, Россия

Цель исследования заключается в разработке новых научных подходов к повышению эффективности дождевальнoй техники. Современные цифровые технологии позволяют осуществлять сбор данных, их анализ и оперативное управление техникой и технологическими процессами зачастую в режиме реального времени. Все это позволяет, с одной стороны, применять новые подходы к моделированию технических систем и процессов (так называемые "data-driven модели – модели на основе данных"), с другой стороны, требует разработки принципиально новых моделей, в основу которых будут положены методы искусственного интеллекта – такие, как искусственные нейронные сети, алгоритмы машинного обучения, нечеткая логика и многое другое. Проведенный анализ треков и фактических скоростей движения дождевальнoй машины в режиме реального времени показал их значительные отклонения в диапазоне от заданной скорости движения, что ведет к ухудшению параметров орошения. Нами разработана модель управления дождевальными машинами, основанная на подходах