УДК 004.896, 58.085

О.А. ИВАЩУК, В.И. ФЕДОРОВ, Н.В. ЩЕРБИНИНА, Е.О. ШАМРАЕВА

O. A. IVASHCHUK, V. I. FEDOROV, N. V. SHCHERBININA, E.O. SHAMRAEVA

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ПРИ ЗАСТРОЙКЕ И РАЗВИТИИ СЕЛЬСКО-ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ.**

**COMPLEX ASSESSMENT AND FORECASTING OF THE SOIL CONDITION DURING THE DEVELOPMENT OF RURAL-URBAN AREA.**

*В данной статье предложен метод комплексной оценки качества почв сельско-городских территорий на основе аппарата нечеткой логики, как с точки зрения возможности проживания на данной территории, так и с точки зрения возможности ведения подсобного хозяйства. Были определены лингвистические переменные, описывающие основные компоненты почв сельско-городских территорий и термы, описывающие значения данных переменных. Построены функции принадлежности, определяющие степень отношения измеряемых параметров качества почв к термам и правила нечеткого вывода. Разработан алгоритм, описывающий данный метод.*

*Данный метод комплексной оценки состояния почв может являться основой для формирования обоснованных управляющих воздействий при планировании, застройки и развитии конкретных сельско-городских территорий.*

*Ключевые слова: метод комплексной оценки, нечёткая логика, оценка качества почв, сельско-городские территории.*

*This article proposes a method of integral assessment of soil quality in rural-urban areas based on the fuzzy logic, both from the standpoint of the possibility of living in a given territory, and from the point of view of the possibility of keeping subsidiary farming. There are determined the linguistic variables describing the main soils components of rural-urban areas and terms describing the meaning of these variables. There are constructed the membership function that determine the ratio of the measured soil quality parameters to the terms and the rules of fuzzy inference. The authors developed an algorithm that describes this method.*

*This method of integral assessment of soil quality can be basis for the formation of well-founded control actions during the planning, construction and development of specific rural-urban areas.*

*Keywords: Method of integral assessment, fuzzy logic, assessment of soil quality, rural-urban areas.*

Сегодня строительство жилых комплексов является одним из приоритетных направлений экономики быстроразвивающихся регионов Российской Федерации. Особенно следует отметить рост индивидуального жилищного строительства. Ежегодный объем введенного в эксплуатацию жилья индивидуальными застройщиками в России за последние пятнадцать лет увеличился с 13 до 34 млн. м2 (на 161%)[1]. Интенсивно развиваются особые составляющие городских агломераций, население которых преимущественно проживает в малоэтажной жилой застройке и может вести личное подсобное хозяйство на приусадебных земельных участках[2] – с одной стороны и активно участвует в экономической и социальной жизни города – с другой. Территории индивидуального жилищного строительства, а также рабочие поселки, сельские поселения в черте города и пригородные территории, характеризующиеся указанной выше спецификой, будем называть сельско-городскими территориям.

Следует отметить, что планирование, застройка и развитие подобных территорий в регионах России в основном осуществляется без оценки динамики качества состояния компонентов природной сферы, важнейшей из которых для данного типа территорий является почвенная среда. Загрязняющие вещества, попадающие в почву непосредственно от техногенных источников, через контактирующие среды (вода, воздух), а также при обращении с отходами производства и потребления, могут распространятся по почвенному профилю и накапливаться в высоких концентрациях в верхних горизонтах. Данные процессы значительно воздействуют на здоровье и жизнедеятельность населения.

Результативность процесса управления планированием, застройкой и развитием сельско-городских территорий с учетом их экологической безопасности неотъемлемо связано с разработкой и исследованием эффективных методов и моделей поддержки принятия решений в данной сфере, механизмов его информационного обеспечения, в том числе методов и моделей оценки качества состояния данных территорий, на основе которых могут быть получены научно обоснованные управляющие воздействия. Одним из современных способов оценки качества состояния территории является применение методов интеллектуального анализа данных. Различные исследования показывают удовлетворительные результаты применения данных методов для оценки состояния территорий различного назначения[3-7]. Однако, несмотря на значительное количество исследований в данной сфере на сегодняшний день отсутствуют модели, позволяющие производить интегральную оценку и прогноз состояния сельско-городских территорий с учетом их особенностей.

Целью данной работы является разработка метода комплексной оценки качества почв сельско-городских территорий как одного из основных компонентов природной сферы сельско-городских территорий. Данный метод должен стать основой для выработки результативных управляющих воздействий при планировании, застройке и развитии данных территорий и учитывать их основные особенности, а именно: преобладание малоэтажной жилой застройки, ведение личного подсобного хозяйства, особое значение состояния почв. В данной статье авторами предлагается осуществлять комплексную оценку химического состояния почв как с точки зрения возможности проживания на данной территории, так и с точки зрения возможности ведения подсобного хозяйства. Данный подход позволит обеспечить эффективный выбор управленческих решений о перспективах индивидуального жилищного строительства на сельско-городских территориях.

Состояние почв описывается большим количеством разнородных параметров, как количественных, так и качественных [8,9]. Для проведения ее комплексной оценки предлагается использование аппарата нечеткой логики.

Исследования проводились согласно техническому заданию и плану-графику НИР «Исследование методов и моделирование процессов в биотехнологии и систематике растений»

Состояние почв на рассматриваемой сельско-городских территориях можно представить в виде лингвистической переменной, как набор:

 {*SoilSt, T, SS, G, H*}, (1)

где *SoilSt* – имя рассматриваемой переменной, описывающей состояние почв на рассматриваемой сельско-городской территории, *Т* – базовое терм-множество, то есть множество значений лингвистической переменной, *SS* – набор количественных характеристик, на основании которых можно определить принадлежность состояния почвы к тому или иному значению из *Т*; *G* – множество синтаксических правил для образования имен новых значений *SoilSt*, не входящих в базовое терм-множество; *H* – математические правила, позволяющие задать вид функции принадлежности.

Для осуществления комплексной оценки состояния почв на рассматриваемой сельско-городской территории переменная *SoilSt* будетявляться составной:

*SoilSt* =(*SoilStз, SoilStсх)*,

где *SoilStз –* лингвистическая переменная, характеризующая состояние почвс точки зрения влияния на здоровье населения и возможность проживания на данной территории;

 *SoilStсх –* лингвистическая переменная, характеризующая состояние почвс точки зрения возможности выращивания сельскохозяйственных культур и ведения подсобного хозяйства. Данные переменные аналогично (1) могут быть также представлены пятерками:

 {*SoilStз, Tз, SSз, Gз, Hз*}, (2)

 {*SoilStсх, Tсх, SSсх, Gсх, Hсх*}, (3)

где *Т*Зи *Т*СХ – базовые терм-множества, которые задают значения лингвистических переменных *SoilSt*З и *SoilSt*СХ, соответственно; *Т*З – на *SSз*, к элементам которого относятся параметры состояния почвы, характеризующие ее влияние на здоровье населения; *Т*СХ – нечеткая переменная на числовом множестве *SS*СХ, к элементам которого относятся параметры состояния почвы, характеризующие ее пригодность для сельскохозяйственного использования;

Так как оценка качества почвы в (2), (3), в свою очередь, определяется на основе оценок влияния большого количества загрязняющих веществ, то переменные *SoilStсх,* и *SoilStз* также являются составными:

 *SoilStз* = (*SoilStз1*, *SoilStз2*, *SoilStз3*,…, *SoilStзj*,…, *SoilStзm*), *j*$=\overline{1,J}$

 *SoilStсх* = (*SoilStсх1*, *SoilStсх2*, *SoilStсх3*,…, *SoilStсхi*,…, *SoilStсхn*), $i=\overline{1,I}$

где переменные *SoilStзj* – оценки измеряемых параметров, влияющих на состояние почв с точки зрения здоровья проживающего населения, а переменные *SoilStсхi*  – оценки конкретных измеряемых параметров, влияющих на состояние почв с точки зрения ее сельско-хозяйственного использования. При выборе данных параметров необходимо руководствоваться нормативными документами [8,9], функциональным назначением рассматриваемой территории, а также особенностями источников загрязнения, оказывающими негативное влияние на данной территории.

Для описания состояния почв с точки зрения влияние на здоровье населения будем использовать следующие термы:

*Tз =* { *Tз1 , Tз2 , Tз3 , Tз4 , Tз5*}*,*

где *Tз1 =* «чистая», такая оценка почв с точки влияние на здоровье населения дается, когда содержание загрязняющих веществ не превышает фоновое.

*Tз2 =* «допустимая», такая оценка дается, когда содержание хотя бы одного загрязняющего вещества превышает фоновое, но не выше ПДК и суммарный показатель загрязнения *Zc* < 16

*Tз3 =* «умеренно опасная», такая оценка дается, когда содержание хотя бы одного загрязняющего вещества в почве находится в пределах от 1 до 2 ПДК или суммарный показатель загрязнения 16 ≤ *Zc ≤* 32.

*Tз4 =* «опасная», такая оценка дается, когда содержание хотя бы одного загрязняющего вещества в почве находится в пределах от 2 до 5 ПДК, или суммарный показатель загрязнения от 32 ≤ *Zc ≤* 128.

*Tз5 =* «чрезвычайно опасная», такая оценка дается когда содержание хотя бы одного загрязняющего вещества в почве превышает 5 ПДК или суммарный показатель загрязнения *Zc* >128.

Для описания состояния почв с точки зрения возможности сельскохозяйственного использования будем использовать следующие термы:

*Tсх =* {*Tсх1 , Tсх2 , Tсх3 , Tсх4 , Tсх5*},

где *Tсх1 =* «чистая», такая оценка почв с точки зрения возможности выращивания сельскохозяйственных культур дается, когда содержание загрязняющих веществ не превышает фоновый уровень.

*Tсх2 =* «допустимая», такая оценка дается, когда содержание загрязняющие веществ в почве превышает фоновое, но не выше ПДК [10].

*Tсх3 =* «умеренно опасная», такая оценка дается, когда содержание загрязняющие веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем общесанитарном, миграционном водном и миграционном воздушном показателях вредности, но ниже допустимого уровня по транслокационному показателю.

*Tсх4 =* «опасная», такая оценка дается, когда содержание загрязняющие веществ превышает их ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности.

*Tсх5 =* «чрезвычайно опасная», такая оценка дается, когда содержание загрязняющих веществ превышает ПДК в почве по всем показателям вредности.

Конкретные значения долей ПДК для описания термов обусловлены требованиями СанПиН к качеству почв населенных мест и почв сельскохозяйственного использования[17,18].

Для комплексной оценки состояния почв, которая будет использоваться при принятии управленческих решений о возможности застройки и направлении развития сельско-городских территорий введем следующие термы:

*T =*{*T1 , T2 , T3 , T4 , T5*} (4)

– *Т*1 = «чистая», когда оценка с токи зрения влияния состояния почвы на здоровья населения *SoilStз = «чистая»*,и оценка с точки зрения влияния состояния почв на здоровье населения*SoilStсх* = «чистая». При такой оценке оцениваемая территория может быть использована как для проживания, так и для ведения подсобного хозяйства без ограничений;

– *Т2* = «допустимое». Такая оценка дается тогда, когдаобе оценки *SoilStз* и *SoilStс* имеют значение допустимая либо, когда одна из них имеет значение «допустимая», а другая «чистая». При такой оценке также возможно проживание на данной территории и выращивание сельскохозяйственных культур, при условии проведения определенных мероприятий по снижению воздействия источников загрязнения на почву;

– *Т3* = «проживание ограничено». Такая оценка дается в случае когда *SoilStз =* «умеренно опасная» или «опасная» при значения *SoilStсх =«*чистая» или «допустимая». При такой оценке использование территорий для проживания населения может вызывать повышение уровня общей заболеваемости, однако выращивание сельскохозяйственный культур возможно без существенных ограничений;

– *Т*4 = «подсобное хозяйство ограничено». Такая оценка дается в случае, когда *SoilStз =* «чистая» или «допустимая», а значения *SoilStсх =*«умеренно опасная» или «опасная». При такой оценке возможно проживание на данной территории без существенного влияния на здоровье населения, однако, почва данных территории может быть использована для выращивания культур, неиспользуемых в качестве продуктов питания;

– *Т*5 = «чрезвычайно опасное». Такая оценка дается в случае, когда *SoilStз = «*чрезвычайно опасное*»*, и *SoilStсх* = «чрезвычайно опасное». При такой оценке почва одновременно непригодна для выращивания никаких сельскохозяйственных культур и оказывается значительное влияние на здоровье населения проживающего на данной территории.

 Для осуществления нечеткого вывода и получения комплексной оценки состояния почв сельско-городских территорийй необходимо построить наборы логических правил вида «если «условие», то «вывод»», например, для переменной *SoilSt:*

если *(SoilStз = Tз1)* и *(SoilStсх = Tсх1)*

или *(SoilStз = Tзi)* и *(SoilStсх = Tсхj)*

 *…*

то *SoilSt = Tk,*

где *Tзi, Tсхj –* термы («чистая», «допустимая», «опасная» и т.д.) входящие в состав базовых терм множеств *Tз, Tcх* размерностью *i, j. Tk* $\in $*T* из (4*),* $k=\overline{1,5}$*.* Данные термы дают оценку переменных *SoilStз* и *SoilStсх* соответственно;

 *SoilSt = Tk –* значение комплексной оценки почв рассматриваемой территории, полученная в результате нечеткого логического вывода, как с точки зрения влияния на здоровье проживающего населения, так и с точки зрения возможности ведения подсобного хозяйства и выращивания сельскохозяйственных культур.

Аналогично подобные наборы правил должны быть построены для переменных *SoilStз*,*SoilStсх* для получения соответствующих оценок*.*

Для определения степени соответствия каждого числового значения множеств *SSз* и*SScх*, описывающих состояние почв рассматриваемых территорий, термам *Tзi и Tсхj* используются специально составленные для данного случаяфункции принадлежности $μ\_{Т\_{зi}}$, $μ\_{Т\_{схj}}$. Вид и параметры данных функций должны определятся с учетом мнения экспертов предметной области, нормативных документов, а также данных официальной статистики.

На рисунке 1 представлен алгоритм предложенного выше метода комплексной оценки качества почв сельско-городских территорий.



Рисунок 1 –Алгоритм метода комплексной оценки почв сельско-городских территорий.

Первым этапом данного алгоритма является сбор данных о параметрах почв сельско-городских территорий. На нем происходит сбор информации о качестве почв на выбранной территории по заранее определенному количеству параметров. Данные могут быть получены как в результате мониторинга текущей ситуации, так и в результате прогнозного моделирования.

Вторым этапом является актуализация систем нечеткого вывода для *SoilStз* и *SoilStсх*, на основе полученных значений согласно разработанной системе правил и в соответствии с выявленными функциями принадлежности, определяются значения *SoilStсхi* и *SoilStзj.*

Далее, на третьем этапе, на основе значений лингвистических переменных *SoilStсхi* и *SoilStзj* осуществляетсяпроцедура нечеткого вывода промежуточных комплексных оценок *SoilStсх* и *SoilStз*. Стоит отметить, что промежуточные оценки, а также значения параметров почв сельско-городских территорий должны быть записаны в базу данных, что в дальнейшем позволит вырабатывать обоснованные управленческие решения.

Аналогично, получению данных промежуточных оценок, на этапах 4 и 5 осуществляется получение итоговой комплексной оценки, выбранной сельско-городской территории – *SoilSt.* Если полученная оценка соответствует терму «Чистая», алгоритм оценки заканчивается, иначе, реализуется этап 6, на котором происходит анализ всех промежуточных результатов оценки параметров для выявления конкретных причин, оказывающих приоритетное влияние на неблагоприятное состояние почв.

Описанный метод является основой для разработки, реализующих его, нечетких моделей комплексной оценки качества почв конкретных сельско-городских территорий с учетом их принципиальных особенностей. Итоговая комплексная оценка, а также промежуточные оценки полученные в процессе функционирования данных моделей могут стать основой для выработки обоснованных управляющих воздействия при планировании, застройке и развитии сельско-городских территорий и стать частью автоматизированной системы управления данным видом территорий.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. О жилищном строительстве в 2015 г. [Электронный ресурс]. // Федеральная служба государственной статистики [Официальный сайт]. Web доступ: http://www.gks.ru/bgd/free/b04\_03/IssWWW.exe/Stg/d01/21.htm (20.03.2016 г.)
2. Федеральный закон от 7.08.2003г. №112-ФЗ "О личном подсобном хозяйстве"
3. Benenson I.Agent-Based Modeling: from Individual Residential Choice to Urban Residential Dynamics/Eds. M.F. Goodchild, D.G. Janelle// Oxford: Oxford University Press – 2004
4. Иващук, О.А. Модели интеллектуального анализа данных в информационных системах экологической безопасности/О.А. Иващук, О.Д. Иващук// Научные ведомости Белгородского государственного университета, 2013. - № 15 (158). Выпуск 27/1.- C.163-168
5. Иващук, О.А. Интеллектуальная поддержка решений в управлении экологической безопасностью/ О.А. Иващук, Д.А. Кванин// Научное обозрение, 2014. - № 8. – Ч. 2. – С. 619-626
6. Ivashchuk, Olga Alexandrovna Research in the Field of Automated Environmental Safety Control for Industrial and Regional Clusters / Olga Alexandrovna Ivashchuk, Igor Sergeevich Konstantinov, Sergej Aleksandrovich Lazarev, Vjacheslav Igorevich Fedorov // International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562. - Volume 9. – Number 22 (2014). - Pp. 16813-16820.
7. Плуготаренко, Н.К. Применение нейронных сетей для построения модели прогнозирования состояния городской воздушной среды/ Н.К. Плуготаренко, А.Н. Варнавский // Инженерный вестник Дона – 2012 - *№*23
8. МУ 2.1.7.730-99 Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест
9. СанПиН 2.1.7.1287-03 Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы
10. Перечень предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно-допустимых количеств (ОДК) химических веществ в почве. М.1991. Утв. МЗ СССР 19.11.91 № 6229-91

**Иващук Ольга Александровна**

Белгородский государственный национальный

исследовательский университет, г. Белгород

д.т.н., профессор, профессор кафедры информационных и робототехнических систем

Тел.: +7(4722) 30-13-76

E-mail: ivaschuk@bsu.edu.ru

**Федоров Вячеслав Игоревич** Белгородский государственный национальный

исследовательский университет, г. Белгород

ст. преподаватель кафедры информационных и робототехнических систем

Тел.: +7(4722) 30-13-76

E-mail: ivaschuk@bsu.edu.ru

**Щербинина Наталья Владимировна**

Белгородский государственный национальный

исследовательский университет, г. Белгород

К.т.н. доцент кафедры информационных и робототехнических систем

Тел.: +7(4722) 30-13-76

E-mail: ivaschuk@bsu.edu.ru

**Шараева Елена Олеговна**

Белгородский государственный национальный

исследовательский университет, г. Белгород

К.т.н., доцент кафедры информационных и робототехнических систем

Тел.: +7(4722) 30-13-76

E-mail: ivaschuk@bsu.edu.ru