



КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕМЕЛЬ. МЕТОДЫ

Каличкин В.К., Корякин Р.А., Максимович К.Ю., Галимов Р.Р.

*Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия*

Для решения задачи автоматизации агроэкологической оценки земель (природно-ресурсного потенциала) и создания интеллектуальных информационных систем для дальнейшего их программирования необходимым этапом является концептуализация предметной области, или концептуальное моделирование. В настоящей работе концептуальная модель предметной области «Агроэкологические свойства земель», разработанная на основе абстрактно-логического языка UML и предложенная в предыдущей части цикла статей авторов, дополнена типом абстрактных объектов «метод». Методы в UML отражают виды взаимосвязей между данными различной природы и призваны различать способы, с помощью которых можно заполнить недостающие данные и информацию при решении практических задач в рамках проектирования и выстраивания адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Рассмотрены UML-методы для одного из абстрактных классов предметной области – класса «Рельеф». В данном классе выделены 31 группа комплектов входных данных и 23 – выходных. Все 54 комплекта данных обусловлены связями «метод – атрибут», действующими внутри данного класса или по ранее зафиксированным в концептуальной модели связям между классами. Это означает, что метод класса как абстрактный объект задает множество зависимостей между данными, привязанными к атрибутам данного класса, как входными, и данными, привязанными к атрибутам данного или связанного с ним класса, как выходными. Элементами такого множества зависимостей могут быть детерминированные или стохастические алгоритмы, статистические и другие обрабатывающие ряды данных методы, методы анализа данных и искусственного интеллекта, а также конкретные математические формулы. Показана технология построения базы знаний по UML-методам класса «Рельеф», содержащей 713 групп UML-методов, классифицированных по семи типам, а также приведены примеры UML-методов трех различных типов.

Ключевые слова: концептуальная модель, UML, методы, предметная область, земельный участок, характеристика земель

THE CONCEPTUAL MODEL OF AGROECOLOGICAL PROPERTIES OF LAND. METHODS

Kalichkin V.K., Koryakin R.A., Maksimovich K.Yu., Galimov R.R.

*Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia*

To solve the problem of automating the agroecological land estimation (natural resource potential) and creating intelligent information systems for their further programming, the necessary stage is the conceptualization of the domain knowledge (DK), or conceptual modelling. In this work, the conceptual model of DK “Agroecological properties of land”, developed on the basis of the abstract logical language UML and proposed in the previous part of the series of articles by the authors, is supplemented by the type of abstract objects “method”. The methods in UML reflect the

types of relationships between data of various nature and are designed to distinguish the ways with which it is possible to fill in the missing data and information when solving practical problems in the framework of designing and building adaptive landscape farming systems. UML methods are considered for one of DK abstract classes – class “Relief”. In this class, 31 groups of input datasets and 23 groups of output datasets are suggested. All 54 datasets are based on the “method – attribute” connection that operate within this class or by abstract relationships between classes previously built into the conceptual model. This means that a class method as an abstract object defines a set of dependencies between data associated with the given class attributes, as input dataset, and data associated with the given or related class attributes, as output dataset. The elements of such set of dependencies can be deterministic or stochastic algorithms, statistical and other data processing methods, data analysis and artificial intelligence methods, as well as specific mathematical formulas. The technology of building a knowledge base by UML methods of class “Relief” is shown, containing 713 groups of UML methods classified by seven types, and also examples of UML methods of three different types are given.

Keywords: conceptual model, UML, methods, domain knowledge, plot of land, land characteristics

Для цитирования: Каличкин В.К., Корякин Р.А., Максимович К.Ю., Галимов Р.Р. Концептуальная модель агроэкологических свойств земель. Методы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50. № 5. С. 77–86. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-5-9>

For citation: Kalichkin V.K., Koryakin R.A., Maksimovich K.Yu., Galimov R.R. The conceptual model of agroecological properties of land. Methods. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2020, vol. 50, no. 5, pp. 77–86. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-5-9>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Одна из задач применения методов искусственного интеллекта в сельском хозяйстве – создание автоматизированной системы (программного комплекса для ЭВМ), осуществляющей агроэкологическую оценку земель с помощью интеллектуального анализа данных. Исследования в этой области проводят, например, на кафедре систем искусственного интеллекта Сибирского федерального университета [1, 2]. Здесь создана интеллектуальная система поддержки принятия решения, которая решает задачи ранжирования сельскохозяйственных земель на основе связанного с этими территориями 28-мерного массива геопространственных данных (2 координаты и 26 геопараметров). Схемы решения задач оценки земель в системе создаются на базе экспертных оценок и после отладки на значительном объеме экспериментальных данных могут использоваться как объективный инструмент. Как дополнительный способ оценки земель разработана также методика

определения технико-экономических показателей эксплуатации земель (коэффициент технологической эффективности) в системе управления эффективностью АПК [3].

В зарубежной литературе в отличие от отечественной можно найти большое количество методов и подходов в решении задач оценки сельскохозяйственных земель. Например, многокритериальные подходы к анализу решений (Multi Criteria Decision Analysis approaches – MCDA) [4], нечеткие многокритериальные методы (Fuzzy Multi-Criteria Methods) [5], а также метод многокритериального анализа ELECTRETri (ELimitation EtChoix Traduisant la REalité) в ArcGIS [6]. Интеллектуальная система оценки земли (ISLE – Intelligent System for Land Evaluation) также разработана в качестве основы для интеграции методов искусственного интеллекта с ГИС. ISLE основана на знаниях и моделирует оценку земли в соответствии с моделью FAO-SYS [7, 8]. Интеллектуальная система оценки пригодности сельскохозяйственных

земель (ALSE – Agriculture Land Suitability Evaluator) основана на геоэкологических факторах, автоматизирует процесс оценки и иллюстрирует результаты в таблице атрибутов [9]. Оптимизированный алгоритм машинного обучения (optimized Machine Learning (ML) algorithm) используется для обработки больших данных [10]. Разработано картирование зоны пригодности для землепользования (landuse suitability zone – LSZ) на основе метода аналитической иерархии (analytic hierarchy process – АНП). В этом случае используются модели динамического преобразования землепользования и его последствий (Dynamic Conversion of Land-Use and its Effects – Dyna-CLUE) и статистического масштабирования (Statistical Down Scaling Model – SDSM) [11].

Прежде чем приступить к освоению известных методов автоматизированной оценки земель или разработке собственных, необходимо иметь достаточно четкое представление о предметной области (ПО) и ее модели. Это правило обязательно для исполнения, поскольку помогает избежать ошибки в последующем моделировании или программировании [12, 13].

В предыдущей публикации мы описали концептуальную модель агроэкологических свойств земель и представили ее в виде диаграммы в стандарте UML [14]. Диаграмму характеризуют классы – абстрактные объекты, их атрибуты – свойства абстрактных объектов, связи между классами (на диаграмме пронумерованы цифрами 1–13). Эта диаграмма (концептуальная модель) должна содержать еще один тип принятых в UML абстрактных объектов – *методы*. Методы UML привязаны к классам и отражают всевозможные способы преобразования выявленных через атрибуты классов структур данных в другие имеющие смысл в рамках ПО, т.е. прикрепленные к конкретным абстрактным объектам ее концептуальной модели данные. Методы на диаграмме отсутствуют, в указанной статье их не рассматривали.

Цель данной работы – представить примеры методов в рамках концептуальной модели агроэкологических свойств земель.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Агроэкологическая оценка земель сельскохозяйственного назначения – одна из шести совокупностей факторов, которые необходимо учитывать при моделировании АЛСЗ¹. Для концептуализации ПО выбрана объектно-ориентированная методология, которая является логическим развитием методологий структурного программирования и моделирования данных, обеспечивающих локализацию и структуризацию как самих данных, так и процессов их обработки. При этом подходе вместо набора процедур, предназначенных для решения конкретной задачи, формируется набор абстрактных объектов, свойственных данной ПО, а сами процедуры решения конкретных задач рассматриваются как примеры реализации абстрактных объектов. Развитие объектно-ориентированной методологии связано с созданием методов визуального описания данных, их структур и состояний, процессов и субъектов их обработки. Для решения нашей задачи выбран UML – унифицированный язык моделирования – и абстрактный объект UML – «метод».

Абстрактный объект UML «метод» – наиболее простой и интуитивно понятный среди объектов, используемых для реализации процедур решения конкретных задач. Другие виды таких объектов, например *последовательности*, часто используются вынужденно в силу более глубокой детализации и усложнения структуры классов и связей концептуальной модели ПО. О последовательностях предполагается отдельная публикация в серии статей авторов о концептуальной модели агроэкологических свойств земель.

Методы в UML привязаны к классам и отражают возможности использования атрибутов этого класса для получения зна-

¹ Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: метод. руководство. М.: Росинформагротех», 2005. 784 с.

чений других атрибутов этого же класса или атрибутов других классов через связи между классами. Получение значений выполняется через известные или пока неизвестные процедуры решения конкретных задач. Это могут быть детерминированные или стохастические алгоритмы, статистические и другие обрабатывающие ряды данных методы, методы анализа данных и искусственного интеллекта. Иногда реализацией метода может быть устоявшаяся форма расчета одного параметра по другим, известная в виде конкретной формулы.

Таким образом, в UML метод класса – вычислительная процедура, аргументами которой являются значения (или одно значение) атрибутов этого же класса. На выходе такой процедуры может получиться другой атрибут этого же класса или атрибут класса, имеющего связь с данными. Графическая нотация класса состоит из двух частей – заголовка с именем класса и тела с описанием его полей (атрибуты – в терминах UML) и методов (операций – в терминах UML)² [15].

В рамках предметной области «Агроэкологические свойства земель» основная цель применения методов – восполнить пробелы в имеющихся данных о землях и природных условиях не измерительными методами, а с помощью автоматических расчетов на ЭВМ и в информационных системах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде чем переходить к описанию методов расчета одних характеризующих природные объекты и комплексы величин через другие, заметим, что все они обусловлены нахождением земельного участка в природной среде, а значит, выполняются под влиянием и с учетом внешних природных процессов. Набор природных процессов – важная часть ПО, которая сформируется после понимания того, какие комплекты внешних природных процессов учитывает каждый из выбранных методов.

Для отражения практики применения методов в рассматриваемой ПО в каче-

стве примера выбран класс «Рельеф» (см. табл. 1). Строки – это наборы атрибутов класса «Рельеф», подаваемые на вход метода, в столбцах – значения выдаваемого на выходе атрибута этого же или другого класса (см. табл. 1).

Цифрами 1–5 обозначены атрибуты класса «Рельеф» сверху вниз согласно их порядку на диаграмме [14]. Они дают 31 комплект входных параметров, из которых с помощью методов можно получить или 5 атрибутов класса «Рельеф», или 18 атрибутов четырех связанных классов (связи 1, 3, 4, 10 [14]). Аналогичны другие обозначения: э1, э2 (2 атрибута класса «Эрозия», связь 1); п1, п2, п3, п4, п5, п6, п7, п8, п9 (9 атрибутов связанного класса «Почвы», связь 3); а1, а2, а3, а4 (4 атрибута связанного класса «Агрометеорологический ресурс», связь 4); з1, з2, з3 (3 атрибута связанного класса «Земельный участок», связь 10). В ячейках таблицы цвет означает наличие метода, разные цвета – разные виды методов. Расшифровка цветов – внизу таблицы.

Пример 1. Для отражения связи между крутизной склонов (р4) и степенью проявления эрозии (э2) – в таблице это фиолетовая клетка на пересечении строки с обозначением «4» и столбца с обозначением «э2» – можно использовать статистический метод, предложенный М.Н. Заславским [16] (см. табл. 2).

Пример 2. Для отражения связи между рельефом (р1–5) и почвенным покровом (п1–п4) – в таблице это желтые клетки на пересечении строки с обозначением «1–5» и четырех столбцов с обозначениями «п1», «п2», «п3», «п4» – необходимо разработать метод.

Для разработки метода может быть использован закон аналогичных топографических рядов³. Сущность этого закона заключается в том, что в любой зоне распределение почв на элементах рельефа имеет аналогичный характер: на возвышенных элементах залегают почвы, генетически самостоятельные (автоморфные), которым свойственны

²Буч Г., Рамбо Д., Джекобсон А. UML: специальный справочник. СПб.: Питер, 2002. 432 с.

³Захаров С.А. Курс почвоведения. М.; Л.: Госиздат, 1927. 455 с.

Табл. 1. Класс «Рельеф»: методы

Table 1. Class “Relief”: methods

	1	2	3	4	5	п1	п2	п3	п4	п5	п6	п7	п8	п9	э1	э2	з1	з2	з3	а1	а2	а3	а4
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
1,2																							
1,3																							
1,4																							
1,5																							
2,3																							
2,4																							
2,5																							
3,4																							
3,5																							
4,5																							
1,2,3																							
1,2,4																							
1,2,5																							
1,3,4																							
1,3,5																							
1,4,5																							
2,3,4																							
2,3,5																							
2,4,5																							
3,4,5																							
1,2,3,4																							
1,2,3,5																							
1,2,4,5																							
1,3,4,5																							
2,3,4,5																							
1-5																							

Расшифровка цветов:

	– метод невозможен, так как параметр находится среди входных;
	– существует математическая формула;
	– существует статистический метод;
	– существует метод математического моделирования;
	– существует метод искусственного интеллекта;
	– логика предметной области требует разработки метода;
	– метод неизвестен

Табл. 2. Интенсивность эрозии в зависимости от крутизны склона

Table 2. The intensity of erosion depending on the steepness of the slope

Крутизна склонов, град.	Интенсивность эрозии, т/га в год
0–1	От незначительной (< 0,5) до средней (1–5)
1–3	От слабой (0,5–1) до сильной (5–10)
3–5	От средней (1–5) до очень сильной (> 10)
5–7	От сильной (5–10) до очень сильной (> 10)

вынос подвижных продуктов почвообразования и аккумуляция малоподвижных; на пониженных элементах рельефа (шлейфы склонов, днища низин и западин, приозерные понижения, пойменные террасы и др.) расположены генетически подчиненные почвы (полугидроморфные и гидроморфные) с аккумуляцией подвижных продуктов почвообразования, приносимых с поверхностным и внутрипочвенным стоками с водоразделов и склонов; на склоновых элементах рельефа

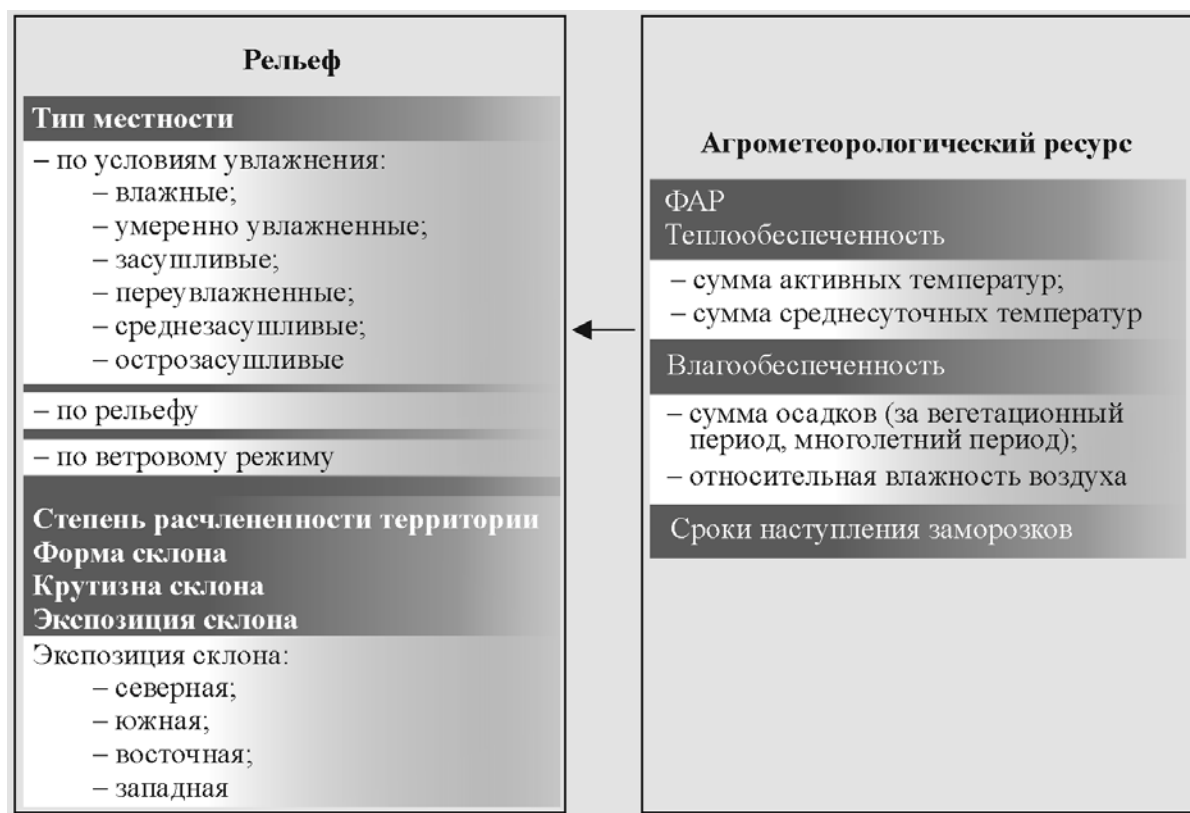
залегают переходные почвы, в которых по мере приближения к отрицательным формам рельефа возрастает аккумуляция подвижных веществ.

Пример 3. Для отражения связи между типом местности, экспозицией склона и влагообеспеченностью – в таблице это голубые клетки на пересечении строки с обозначением «1,5» и столбца с обозначением «а2», «а3» – можно использовать методы искусственного интеллекта (ИИ). Тип местности, подобно ландшафту или району, – один из наиболее распространенных и важных понятий ландшафтной географии. Эту категорию классифицируют также по условиям увлажнения: «переувлажненные», «влажные», «умеренно увлажненные», «засушливые» и «острозасушливые».

Для использования одного из методов ИИ необходимо базовую диаграмму UML [14] дополнить, а именно в классе «Рельеф» создать подкласс «Тип местности» (на основе одноименного атрибута) и добавить в

этот подкласс атрибуты «по условиям увлажнения», «по рельефу», «по ветровому режиму». Дифференциация подкласса «Тип местности» может быть продолжена до создания атрибутов по условиям увлажнения (см. рисунок). Аналогичным образом детализируем класс «Агрометеорологический ресурс».

Определение типа местности по условиям увлажнения возможно на основе использования искусственной нейронной сети (ИНС) и дерева моделей M5 Tree (которое также применяется для прогнозирования прогревания почвы) [17]. Построение модели начинается со сбора первичных данных. В нашем случае это гидрометеорологические параметры, так как они составляют основу водного (сумма осадков) и теплового балансов (испаряемость). Для более детального анализа и прогноза список используемых атрибутов может быть расширен, и задействованы такие параметры, как форма склона и угол наклона рельефа, условия дре-



Детализация классов – «Рельеф» и «Агрометеорологический ресурс»

Detailing of classes – “Relief” and “Agrometeorological resource”

нированности, гранулометрический состав почв и др. Это позволит получить оптимальную модель на основе ELM (Extreme Learning Machine) [18] для оценки влажности исследуемого участка, учитывая экспозицию, рельефно-ландшафтные характеристики, сопоставляя с соответствующей комбинацией метеорологических данных.

Алгоритм обучения ИНС можно провести методом обратного распространения ошибки. Обучение ИНС содержит три основных стадии: первая – подача на входы сети обучающих данных (X_1 – данные по рельефу, X_2 – по экспозиции склона, X_3 – по теплообеспеченности, X_4 – по влагообеспеченности), вторая – противоположное распространение погрешности, третья – корректирование весов. На выходе получают векторы ответов по определению типа местности по условиям увлажнения. В результате благодаря полученной зависимости можно по данным, связанным с атрибутами «Тип местности» и «Экспозиция склона» класса «Рельеф», оценивать данные, связанные с атрибутами «Теплообеспеченность» и «Влагообеспеченность» класса «Агрометеорологический ресурс», реализуя заявленное предназначение UML-метода как абстрактного объекта в концептуальной модели предметной области.

Представленный в табл. 1 фрагмент знаний о взаимозависимостях данных предметной области «Агроэкологические свойства земель» – важный инструмент в интеллектуальных информационных системах, одной из функций которых является заполнение пробелов в информации. Например, «Аграрная интеллектуальная система» [19] имеет компонент «Доформализация входных данных». На практике любая задача земледелия (растениеводства) связана с конкретным земельным участком, а значит, применима концептуальная модель ПО, отображаемая на диаграмме [14]. Однако про этот участок известна не вся информация, даже при наличии большого количества данных нет никакой гарантии, что они не устарели. Для заполнения пробелов в знаниях информационная система обращается в таблицы методов, находит в них комплекты входных данных,

соответствующие уже имеющимся по участку данным, по этим комплектам определяет методы для расчета недостающих величин. Если метода нет, сигнализирует о необходимости его разработки. Для некоторых задач нужны не все данные, поэтому доформализация входных данных может происходить по разным сценариям с использованием разных комплектов методов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методы нужны для устранения пробелов в данных и знаниях. Анализ научной и методической литературы по данной теме показал, что существуют только общие рекомендации для составления дидактических и корректирующих методов, но сфера разработки новых, более оптимальных и эффективных методов (в том числе с использованием адаптивного подхода) для определения и исправления пробелов в знаниях недостаточно исследована. В связи с этим актуальной задачей является разработка эффективной методики для определения и исправления пробелов в знаниях, на основании которых гипотетическая система поддержки принятия решений (например, АИС) может давать прогнозы и рекомендации принимающим решения лицам, занятым непосредственно в сельскохозяйственном производстве.

Важной задачей является формирование комплектов знаний и прослеживание их взаимосвязи с практическими сельскохозяйственными задачами и возникающими при их реализации моментами необходимости поддержки принятия решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Раевич К.В., Зеньков И.В. Интеллектуальная система поддержки принятия управленческих решений в задачах оценки земель сельскохозяйственного назначения // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 5 (112). С. 95–104. DOI: 10.21285/1814-3520-2016-5-95-104.
2. Раевич К.В., Маглинец Ю.А., Цибульский Г.М. Интеллектуальная информационная система оценивания земель сельскохозяйственного назначения // Журнал

- Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2016. Т. 9. № 7. С. 1025–1034. DOI: 10.17516/1999-494X-2016-9-7-1025-1034.
3. *Raevich K.V., Zen'kov I.V., Maglinec Yu.A.* Управление использованием продуктивных земель агропромышленного комплекса Красноярского края на основе показателей агроэкономического потенциала // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 3 (110). С. 57–66.
 4. *Mendas A., Delali A.* Integration of Multi-Criteria Decision Analysis in GIS to develop land suitability for agriculture: Application to durum wheat cultivation in the region of Mle-ta in Algeria // Computers and Electronics in Agriculture. 2012. Vol. 83. P. 117–126. DOI: 10.1016/j.compag.2012.02.003.
 5. *Elaalem M.* A Comparison of Parametric and Fuzzy Multi-Criteria Methods for Evaluating Land Suitability for Olive in Jeffara Plain of Libya // APCBEE Procedia. 2013. Vol. 5. P. 405–409. DOI: 10.1016/j.apcbee.2013.05.070.
 6. *Romano G., Sasso P.D., Liuzzi G.T., Gentile F.* Multi-criteria decision analysis for land suitability mapping in a rural area of Southern Italy // Land Use Policy. 2015. Vol. 48. P. 131–143. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.05.013.
 7. *Tsoumakas G., Vlahavas I.* ISLE: an intelligent system for land evaluation // Proceedings ACAI. 1999. Vol. 99. P. 26–32.
 8. *Tsoumakas G., Vlahavas I.* Land Evaluation- An Artificial Intelligence Approach // Environmental information systems in industry and public administration. IGI Global, 2001. P. 158–166. DOI: 10.4018/978-1-930708-02-0.ch009
 9. *Elsheikh R., Shariff A.R.B.M., Amiri F., Ahmad N.B., Balasundram S.K., Soom M.A.M.* Agriculture Land Suitability Evaluator (ALSE): A decision and planning support tool for tropical and subtropical crops // Computers and Electronics in Agriculture. 2013. Vol. 93. P. 98–110. DOI: 10.1016/j.compag.2013.02.003.
 10. *Senagi K., Jouandeau N., Kamoni P.* Using parallel random forest classifier in predicting land suitability for crop production // Journal of Agricultural Informatics. 2017. Vol. 8. N 3. P. 23–32. DOI: 10.17700/jai.2017.8.3.39.
 11. *Sahoo S., Sil I., Dhar A., Debsarkar A., Das P., Kar A.* Future scenarios of land-use suitability modeling for agricultural sustainability in a river basin // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 205. P. 313–328. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.09.099/
 12. *Сорокин А.Б.* Концептуальное проектирование интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Онтология проектирования. 2017. Т. 7. № 3 (25). С. 247–269. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-247-269.
 13. *Мохов В.А., Гринченков Д.В., Власова Л.М., Тху Н.Т., Пидоненко Г.В.* Концептуальное моделирование как основа проектирования сложных систем // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2018. № 2 (198). С. 40–47. DOI: 10.17213/0321-2653-2018-2-40-47.
 14. *Каличкин В.К., Корякин Р.А., Максимович К.Ю., Сигитов А.А., Галимов Р.Р.* Концептуальная модель агроэкологических свойств земель // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50. № 1. С. 72–80. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-1-9.
 15. *Фаулер М.* UML. Основы. 3-е издание / пер. с англ. СПб.: Символ-Плюс, 2004. 192 с.
 16. *Заславский М.Н.* Эрозиоведение. Основы противоэрозионного земледелия: монография. М.: Высшая школа, 1987. 376 с.
 17. *Мансуров А.В.* Нейросетевой метод определения температуры и влажности неоднородно увлажненных почв по данным СВЧ-радиометрии // ОНВ. 2006. № 4 (38). С. 121–125.
 18. *Huang G.B., Zhu Q.Y., Siew C.K.* Extreme learning machine: theory and applications // Neurocomputing. 2006. Vol. 70. N 1-3. P. 489–501. DOI: 10.1016/j.neucom.2005.12.126.
 19. *Каличкин В.К., Корякин Р.А., Куценкогий П.К.* Архитектура и принципы работы аграрной интеллектуальной системы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т. 49. № 4. С. 65–75. DOI: 10.26898/0370-8799-2019.
- ## REFERENCES
1. *Raevich K.V., Zen'kov I.V.* Intelligent system to support managerial decision-making in the problems of agricultural land assessment. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*, 2016, no. 5 (112), pp. 95–104. (In Russian). DOI: 10.21285/1814-3520-2016-5-95-104.

2. Raevich K.V., Maglinets Yu.A., Tsubul'skii G.M. The intelligent information system of estimation of lands of agricultural purpose. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii* = Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies, 2016, vol. 9, no. 7, pp. 1025–1034. (In Russian). DOI: 10.17516/1999-494X-2016-9-7-1025-1034.
3. Raevich K.V., Zen'kov I.V., Maglinets Yu.A. Management of Krasnoyarsk Region agro-industrial complex arable land use based on the indicators of agro-economic potential. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Proceedings of Irkutsk State Technical University, 2016, no. 3 (110), pp. 57–66. (In Russian).
4. Mendas A., Delali A. Integration of Multi-Criteria Decision Analysis in GIS to develop land suitability for agriculture: Application to durum wheat cultivation in the region of Mleta in Algeria. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2012, vol. 83, pp. 117–126. DOI: 10.1016/j.compag.2012.02.003.
5. Elaalem M. A Comparison of Parametric and Fuzzy Multi-Criteria Methods for Evaluating Land Suitability for Olive in Jeffara Plain of Libya. *APCBEE Procedia*, 2013, vol. 5, pp. 405–409. DOI: 10.1016/j.apcbee.2013.05.070.
6. Romano G., Sasso P.D., Liuzzi G.T., Gentile F. Multi-criteria decision analysis for land suitability mapping in a rural area of Southern Italy. *Land Use Policy*, 2015, vol. 48, pp. 131–143. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.05.013.
7. Tsoumakas G., Vlahavas I. ISLE: an intelligent system for land evaluation. *Proceedings ACAL*, 1999, vol. 99, pp. 26–32.
8. Tsoumakas G., Vlahavas I. Land Evaluation – An Artificial Intelligence Approach. *Environmental information systems in industry and public administration. IGI Global*, 2001, pp. 158–166. DOI: 10.4018/978-1-930708-02-0.ch009.
9. Elsheikh R., Shariff A.R.B.M., Amiri F., Ahmad N.B., Balasundram S.K., Soom M.A.M. Agriculture Land Suitability Evaluator (ALSE): A decision and planning support tool for tropical and subtropical crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2013, vol. 93, pp. 98–110. DOI: 10.1016/j.compag.2013.02.003.
10. Senagi K., Jouandeau N., Kamoni P. Using parallel random forest classifier in predicting land suitability for crop production. *Journal of Agricultural Informatics*, 2017, vol. 8, no. 3, pp. 23–32. DOI: 10.17700/jai.2017.8.3.39.
11. Sahoo S., Sil I., Dhar A., Debsarkar A., Das P., Kar A. Future scenarios of land-use suitability modeling for agricultural sustainability in a river basin. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 205, pp. 313–328. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.09.099.
12. Sorokin A.B. Conceptual design of intelligent decision support systems. *Ontologiya proektirovaniya* = *Ontology of Designing*, 2017, vol. 7, no. 3 (25), pp. 247–269. (In Russian). DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-247-269.
13. Mokhov V.A., Grinchenkov D.V., Vlasova L.M., Tkhu N.T., Pidonenko G.V. Conceptual modeling as a basis of designing complex systems. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Tekhnicheskie nauki* = *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences*, 2018, no. 2 (198), pp. 40–47. (In Russian). DOI: 10.17213/0321-2653-2018-2-40-47.
14. Kalichkin V.K., Koryakin R.A., Maksimovich K.Yu., Sigitov A.A., Galimov R.R. Conceptual model of land agroecological properties. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2020, vol. 50, no. 1, pp. 72–80. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2020-1-9.
15. Fowler M. UML Distilled. SPb: Simvol-Plyus Publ., 2004, 192 p.
16. Zaslavskii M.N. *Erosion science. Erosion control fundamentals*. M.: Vysshaya shkola = Higher School, 1987, 376 p.
17. Mansurov A.V. Artificial neural network approach measuring temperature and moisture of non-uniform damped soils by microwave radiometry, *ONV = Omsk Scientific Bulletin*, 2006, no. 4 (38), pp. 121–125. (In Russian).
18. Huang G.B., Zhu Q.Y., Siew C.K. Extreme learning machine: theory and applications. *Neurocomputing*, 2006, vol. 70, no. 1-3, pp. 489–501. DOI: 10.1016/j.neucom.2005.12.126.
19. Kalichkin V.K., Koryakin R.A., Kutsenogii P.K. Architecture and principles of work of agrarian intelligent system. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2019, vol. 49, no. 4, pp. 65–75. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2019.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Каличкин В.К.**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: kvk@ngs.ru

Корякин Р.А., кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник; e-mail: romank@nsk.ru

Максимович К.Ю., младший научный сотрудник; e-mail: kiri-maksimovi@mail.ru

Галимов Р.Р., младший научный сотрудник; e-mail: rufangalimov@yandex.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Vladimir K. Kalichkin**, Doctor of Science in Agriculture, Head Researcher; **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: kvk@ngs.ru

Roman A. Koryakin, Candidate of Science in Physics and Mathematics, Senior Researcher; e-mail: romank@nsk.ru

Kirill Yu. Maksimovich, Junior Researcher; e-mail: kiri-maksimovi@mail.ru

Rufan R. Galimov, Junior Researcher; e-mail: rufangalimov@yandex.ru

Дата поступления статьи 20.06.2020

Received by the editors 20.06.2020
