КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕМЕЛЬ. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

В.К. Каличкин¹, Р.А. Корякин¹, К.Ю. Максимович¹, Р.Р. Галимов¹, Н.А. Чернецкая²

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия;

²Рубцовский индустриальный институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Рубцовск, Россия

Рассмотрен процесс создания последовательностей при описании предметных областей на формально-логическом языке UML. Использование последовательностей основано на понятии «источник данных», введенном авторами на основе предыдущего этапа концептуализации предметной области «агроэкологические свойства земель» – диаграммы классов. В классе начала связи выбирается один из комплектов атрибутов, в классе конца связи – один из методов (запрос), соответствующий этому комплекту. Многократно применяя этот подход при различных значениях атрибутов центрального класса, получается массив данных (в том числе пространственных). Атрибуты являются связующим звеном между создаваемой моделью, методами, потоками данных и запросов системы, так как, с одной стороны, они входят в состав классов, участвующих в сценариях диаграмм последовательностей, а с другой – принадлежат к внешней оболочке модели. На примерах движения информации, необходимой для расчетов гидротермического коэффициента Селянинова и степени проявления эрозии для рабочего участка, построены диаграммы последовательностей «Гидротермический Коэффициент» и «Степень Проявления Эрозии». Данные для диаграмм последовательностей формируются с помощью геоинформационных систем (географические координаты рабочего участка, цифровая модель рельефа) и справочно-информационного портала «Погода и климат». Предлагаемый подход даёт возможность автоматического построения баз знаний на основе двух концептуальных понятий: «источники данных» и «последовательности». Структурирование и формализация знаний позволяет осуществить переход от набора информации к знаниям и последующему их графическому отображению. Визуализация помогает наглядно отобразить связи между классами, которые могут быть не очевидны. Становится доступной возможность последующей оценки жизнеспособности модели, ее проектирования в симбиозе с использованием инструментов для имитационного моделирования, а также математических методов анализа и обработки информации. Данные диаграммы используются для построения и верификации созданных подсистем в процессе прямого и обратного проектирования аграрной интеллектуальной системы.

Ключевые слова: концептуальная модель, UML, диаграммы последовательностей, предметная область, агроэкологические свойства земель.

ВВЕДЕНИЕ

В предыдущих статьях цикла работ по концептуализации агроэкологических свойств земель авторами были представлены элементы логической формализации этой предметной области с использованием объектно-ориентированного подхода [1,2]. Для визуального описания был использован стандарт UML 2.5.1, допускающий 13 видов диаграмм, которые позволяют исчерпывающе описать любую предметную область [3]. Из этих видов диаграмм для описания агроэкологических свойств земель были выбраны 4, а именно диаграммы классов, последовательностей, объектов и прецедентов.

Диаграмма классов, концептуально моделирующая агроэкологические свойства земель, представлена в [1] (6 классов, 27 атрибутов и 13 связей) и доработана в [2], где более подробно рассмотрены методы класса «Рельеф».

Согласно [2,4], методы UML представляют собой вычислительные процедуры обработки данных, в

которых вход формируется с помощью атрибутов одного класса, а выход – одним атрибутом этого же или другого класса (по существующей связи). Главное предназначение методов – заполнение пробелов в данных, связанных с этим выходным атрибутом. Методы UML, таким образом, реализуют знания экспертов предметной области о законах взаимодействия её элементов, концептуализированных в диаграмме классов. Это позволяет в рамках каждого метода использовать существующую (или построить новую) модель, отражающую явление или процесс предметной области и вычисляющую требуемый (для закрытия пробелов) параметр или характеристику некоторого атрибута. Модели имеют разное качество и не всегда работают в соответствии с ожиданиями. Возникает вопрос выбора модели. Один из способов обосновать выбор модели – использовать так называемые скрытые закономерности. С точки зрения концептуальной модели это выглядит следующим образом. Полученный с помощью метода атрибут

связывается с другим атрибутом (между классами этих атрибутов должна существовать связь) – таким образом, что пробелов в связанных с ним данных нет. В результате этой связи происходит формирование пространственно-временного массива данных. Этот массив данных ненадёжен, поскольку часть данных была получена методом с помощью модели, выбор которой как раз и нужно обосновать. Тогда берётся ещё одна пара атрибутов, один из которых получен с помощью метода, а другой не содержит пробелов в данных (один из атрибутов может совпадать с рассматриваемым в первой паре). Из этой пары получается ещё один массив данных. Такие массивы данных представляют собой многомерные временные ряды, устоявшееся название для них в коллективе авторов статьи – «источники данных». Обращаясь к двум и более источникам данных, можно получить параметры и характеристики, зависящие от набора атрибутов, принадлежащих разным классам (понятие метода исключало такую возможность). В частности, для двух источников данных это будут три или четыре атрибута. Получение параметров и характеристик с помощью обработки временных рядов происходит средствами анализа данных, в том числе нейронных сетей, целью которых и является поиск скрытых закономерностей. Обнаружение или не обнаружение скрытых закономерностей позволяет судить о надёжности полученных с помощью моделей данных.

Обращение к нескольким источникам данных для их последующей обработки методами анализа данных задаётся диаграммами последовательностей UML. Формат этих диаграмм позволяет описывать алгоритмические структуры обработки данных, связанных с атрибутами различных классов концептуальной модели предметной области. Помимо подготовки входа для процедур анализа данных, последовательности UML также используются для расчёта любых статистических параметров и характеристик, требующих учёта данных из различных классов. Эти параметры и характеристики часто выступают составными частями отдельных моделей.

Конструирование поведенческих диаграмм UML не является новой областью. Есть целый ряд работ [5-8] о построении диаграмм UML на основе статического анализа исходного кода. Кроме того, есть некоторые CASE-инструменты [9-12], которые могут быть использованы для обратного проектирования последовательности и деятельности UML диаграмм. Существует также плагин [13] для среды разработки NetBeans, который способен создавать различные типы поведенческих моделей из исходного кода Java. Однако все средства, описанные выше, используют статический анализ программ для их работы. Как считалось ранее, исходный код и все его версии не всегда доступны для анализа. Для

усложнения и оптимизации всей системы, введения новых конструкций, или их замену на более подходящие, можно использовать бинарные диаграммы.

Целью данной работы является рассмотрение диаграмм последовательностей UML предметной области «агроэкологические свойства земель».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве методов исследований выступали: анализ литературных источников и их синтез, моделирование, интерпретация и сопоставление, а также методы дискретной математики. Примеры диаграмм последовательностей UML были построены в программном пакете LucidChart.

В стандарте UML [3] приведено 6 типов последовательностей, авторами монографии [4] выделено 8 таких типов. Однако все эти типы последовательностей актуальны при рассмотрении достаточно длинных последовательностей, в том время как ниже показано, что последовательности длины больше 2 рассматривать смысла нет. Говоря о типах последовательностей длины 2 можно говорить об их классификации на основе результатов обработки временных рядов (например, слабо коррелированных, сильно коррелированных и т.д.). Последовательности длины 1, то есть сами источники данных, можно классифицировать по надёжности и полноте содержащихся в них данных.

Основными элементами диаграмм последовательностей являются прямоугольные фигуры с названиями классов, вертикальные «линии жизни», отображающие промежуток времени, а также прямоугольники, которые отображают деятельность объекта или функцию (прямоугольники на пунктирной «линии жизни»). Команды (получить-передать) выполняют передачу данных следующему объекту или возвращение данных к исходной точке запроса. Стрелки показывают процесс обмена данными между классами или атрибутами классов и демонстрируют ход сценария, и те события, которые происходят во время анализируемого прецедента. Атрибуты являются связующим звеном между создаваемой моделью, методами и потоками данных и запросов системы, поскольку с одной стороны они входят в состав классов, участвующих в сценариях диаграмм последовательности, а с другой – принадлежат к внешней оболочке модели (числовые параметры, математические модели). Существенным аспектом диаграммы последовательности является явное отображение течения времени. В отличие от всех других типов диаграмм, на диаграмме последовательности имеет значение не только наличие графических связей между элементами, но и взаимное положение элементов на диаграмме. Принято считать, что ось времени по умолчанию

направлена сверху вниз и то сообщение, которое отправлено позже, показано ниже.

Важным моментом при построении диаграмм стал принцип исключения повторности [3], так как класс не допускает возможности наследования у самого себя прямо или косвенно одинаковых атрибутов. Например, классы, связанные отношением ассоциации не могут иметь одинаковые атрибуты, атрибуты не должны пересекаться и т.д. Чтобы избежать этого, были добавлены новые классы с уникальными атрибутами. На диаграммах последовательностей язык UML описывает фрагменты сценариев работы тех или иных применяемых для решения сельскохозяйственных задач моделей. При этом в силу существования большого количества различных методов и уже готовых комплектов данных, одна и та же модель может работать на основе различных источников данных и тем самым давать разные результаты, хотя содержательно это всё время одна и та же модель.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При наличии уже построенной диаграммы классов [1] важно преобразовывать полученную от эксперта информацию в диаграммы последовательностей так, чтобы никакие диаграммы не противоречили друг другу. В диаграмме классов обращается внимание на связи между классами. В классе начала связи выбирается один из комплектов атрибутов, в классе конца связи выбирается один из методов (запрос), соответствующий этому комплекту. Многократно применяя этот метод при различных значениях атрибутов, получается массив данных (в том числе пространственных). По методу одного и атрибуту этого же или другого класса можно сформировать так называемый источник данных. Легитимность и надёжность этого массива данных изначально спорна, она зависит от качества метода и других факторов, поэтому необходимо проверять эту легитимность. Подразумевается, что такие массивы данных могут создаваться по любой связи и временно размещаться в хранилище данных. Полученные таким образом массивы будут называться источниками данных. Метод может и не применяться в случае, если пробелы в данных, которые можно получить с помощью метода, отсутствуют, то есть данные содержатся в хранилище данных в полном объёме. В этом случае данные берутся из хранилища данных, но при этом представляют собой тот же массив пространственных данных, поэтому без ограничения общности такие массивы также можно называть источниками данных.

Существует несколько подходов к формальному описанию диаграмм классов, однако, по нашему мнению, целесообразно использовать и опираться на средства дескрипционной (описательной) логики, как наиболее удобного для восприятия механизма.

Данный вид логики широко используются для описания онтологий, с помощью него удобно указывать виды связей и делать их расшифровку.

Рассмотрим пример диаграммы последовательности «Гидротермический Коэффициент» в одном из классов с применением метода математической функции (рис. 1).

Рис. 1. Диаграмма последовательности «Гидротермический Коэффициент»

В данной диаграмме используется два источника данных, в каждом из которых за атрибут принимается атрибут «Географические координаты» класса «Земельный участок», а в качестве методов используются два метода класса «Агрометеорологический ресурс», связанные с атрибутами «Влагообеспеченность» и «Теплообеспеченность». В результате вычисляется характеристика, связывающая два временных ряда.

Последовательность демонстрирует связи классов и их очередность при выполнении внешнего или внутренних запросов последовательности «Гидротермический Коэффициент». Набор параметров последовательности запроса «Гидротермический Коэффициент» включает: данные о географических координатах, данные о сумме осадков за период с температурами более 10 °C, мм, данные по сумме температур за то же время. Используется оператор типа «par» (parallel – параллельный, все фрагменты выполняются параллельно). Источниками данных для реализации диаграммы могут выступать: геоинформационные системы (данные по географическим координатам рабочего участка), справочно-информационный портал «Погода и климат» (<http://www.pogodaiklimat.ru/>; базы данных по осадкам и среднесуточным температурам).

С помощью последовательного обращения с запросом от класса «Агрометеорологический ресурс» к другим классам с конкретными атрибутами осуществляется подготовка данных для реализации задачи расчета ГТК. С помощью формы запроса, класс «Агрометеорологический ресурс» обращается к 2-м классам, а именно: класс «Агрометеорологический ресурс» собирает «Данные по географическим координатам» у класса

«Земельный участок» у атрибута «Географические координаты», далее класс «Агрометеорологический ресурс» собирает данные «Данные о сумме осадков за период с температурами более 10 °C, мм» с класса «Агрометеорологический ресурс» у атрибута «СуммаОсадков». Далее класс «Агрометеорологический ресурс» обращается с запросом данных к классу «Агрометеорологический ресурс» к атрибуту «СуммаАктивныхТемператур» с запросом «Получить данные по сумме температур >10 °C».

Рассмотрим второй пример диаграммы последовательности «СтепеньПроявленияЭрозии» в одном из классов с применением метода математического моделирования (рис. 2). В данной диаграмме используется два источника данных, в каждом из которых за атрибут принимается атрибут «Географические координаты» класса «Земельный участок». В результате вычисляется характеристика, связывающая два временных ряда. Для прогнозирования и предупреждения эрозионных процессов, чаще всего применяют универсальное уравнение потери почвы Уишмейера-Смита (RUSLE) [14,15]. Формула включает ряд параметров: осадки (комплексная характеристика эродирующей способности дождя), топографические факторы (длина склона, крутизна склона). Согласно современным исследованиям [16,17], развитие эрозии возможно уже на склонах с уклоном 0,3-0,5°. Диаграмма последовательности «СтепеньПроявленияЭрозии» отражает запрос получения информации о степени проявления эрозии в соответствии с условиями рельефа [18] и влагообеспеченности.

Рис. 2. Диаграмма последовательности «СтепеньПроявленияЭрозии»

Используется оператор типа «reg» (critical region – может иметь только один поток, выполняющийся за один прием). Данные для диаграммы последовательности «СтепеньПроявленияЭрозии» получают из тех же источников как в первом примере. Для вычисления характеристики «СтепеньПроявленияЭрозии» происходят последовательное обращение к 2-м классам: класс «Рельеф», который передает данные «Данные о крутизне склона» с атрибута «Крутизна склона» и класс «Агрометеорологический ресурс» передает

«Данные о сумме осадков» с атрибута «Влагообеспеченность». В последующем идет сбор на «линию жизни» процесса необходимую информацию для реализации задачи «СтепеньПроявленияЭрозии».

Структурирование и формализация знаний позволяет осуществить переход от набора информации к знаниям и последующему графическому отображению этих знаний [19]. Визуализация позволяет проработать и отобразить связи между классами, которые могут быть не очевидны. Так же диаграммы могут дополняться по мере необходимости. То есть, если некий класс, который не был учтен на этапе создания шаблона знаний, но его необходимость появилась в процессе работы с диаграммой, этот класс безотлагательно добавляется в структуру, при этом, без прерывания процессов.

Данные диаграммы позволяют, в дальнейшем использовать методы искусственного интеллекта, которые включают шаблоны знаний, как источники информации и последовательность необходимых действий, создавая своеобразный маршрут. Одним из ключевых этапов разработки приложения является определение того, каким требованиям оно должно удовлетворять. В результате этого этапа появляется формальный или неформальный документ, который называют по-разному, имея в виду примерно одно и то же: постановка задачи, требования, техническое задание, внешние спецификации и др. Необходимо принимать во внимание три толкования спецификаций, а именно, то, которое имеет в виду заказчик, то, которое имеет в виду разработчик и то, которое объективно обусловлено природой специфицируемого объекта. Эти три трактовки спецификаций могут не совпадать, и, как показывает практика, сплошь и рядом не совпадают, причем значительно. Основное назначение UML – предоставить достаточно формальное, удобное и универсальное средство, позволяющее до некоторой степени снизить риск расхождений в толковании спецификаций.

В дальнейшем диаграмму последовательностей UML можно применить как систему СИМ-UML, которая позволит снять такие проблемы как высокая трудоемкость построения имитационных моделей и высокая стоимость программных средств имитационного моделирования [20]. Это можно подтвердить, тем что, во-первых, система использует стандартный язык UML, обеспечивающий построение визуальной модели делового процесса. Такие модели понятны техническим специалистам и руководителям, поскольку язык UML фактически стал стандартом моделирования, как в сфере разработки программного обеспечения, так и в области бизнес-анализа. Во-вторых, построенные UML-модели автоматически преобразуются в имитационные модели, что экономит затраты труда аналитика [20-23].

Минимальное количество источников данных, посчитанное для диаграммы классов предметной области «агроэкологические свойства земель» приведено в таблице 1.

Табл. 1. Количество источников данных в концептуальной модели «агроэкологические свойства земель», шт.

Направление связи	Методы		Источники данных		Всего
	прямое	обратное	прямое	обратное	
1	17	137	85	274	359
2	29	3 317	261	6 634	6 895
3	4 850	354	24 250	3 186	27 436
4	103	199	515	796	1 311
5	163	4 339	1 467	17 356	18 823
6	88	88	352	352	704
7	4 339	163	17 356	1 467	18 823
8	14	58	56	116	172
9	3 828	72	11 484	648	12 132
10	168	44	504	220	724
11	11	23	33	46	79
12	73	37	219	148	367
13	73	37	219	148	367
Итого					88 192

В приведённой таблице не учитываются источники данных, полученные «соединением» атрибута и метода одного и того же класса. При этом метод должен иметь на выходе атрибут другого класса, иначе получившийся источник данных будет частным случаем некоторого метода. Такое соединение продемонстрировано в примере последовательности на рис. 2, в которой представлены 2 источника данных с описанным свойством. Общее количество таких источников данных приведено в таблице 2.

Табл. 2. Количество источников данных, полученные «соединением» атрибута и метода одного и того же класса, шт.

Класс	Атрибуты	Методы с внешним выходным атрибутом	Источники данных
Земельный участок	3	168	504
Агрометеорологический ресурс	4	345	1380
Почва	9	9198	82782
Растительность	4	240	960
Эрозия	2	63	126
Рельеф	5	465	2325
Итого			88 077

Объектно-ориентированный подход с использованием UML позволяет рассмотреть модель с точки зрения отношения набора методов и совокупности источников данных. Общее количество источников данных для предметной области «агроэкологические свойства земель» составит $88\,192 + 88\,077 = 176\,269$ штук. Это количество источников данных даёт, в частности, $15\,535\,292\,046$

последовательностей длины 2, $912\,786\,441\,024\,094$ последовательностей длины 3 и $41\,656\,827\,333\,549\,380\,521\,274\,838\,132$ – длины 6. Эти цифры говорят о том, что собрать и обработать вручную все возможные последовательности, не может быть и речи. Это можно сделать только средствами ЭВМ. Но один только перебор (без выполнения операций) всех последовательностей длины 6 на процессоре Intel Core i5-2500K (4-core), быстродействие которого на частоте 3.3 гигагерц составляет 83 000 млн операций в секунду, займёт около 16 трлн лет. Перебор последовательностей длины 3 в тех же условиях займёт около 3 часов, но с выполнением ряда операций анализа данных с каждой последовательностью это время увеличится на порядки. Для последовательностей длины 2 цифры более адекватны. Поэтому о реальности вычислений можно говорить только в связи с последовательностями, обращающимися к двум источникам данных. Как раз такие последовательности и приведены в примерах выше.

Чтобы обрабатывать более длинные последовательности, необходимо сокращать перебор. Например, при обработке последовательностей длины 2 можно определять их ценность по некоторому критерию (формулировка критерия – фундаментальная научная задача). В этом случае часть последовательностей длины 2 можно исключить из рассмотрения. Тогда они не будут включаться как фрагменты в более длинные последовательности и их станет меньше. Другой возможный вариант сокращения перебора – это заранее исключить из рассмотрения источники данных, методы или атрибуты. Но для этого так же нужны критерии, их поиск в рамках закономерностей предметной области – ещё одна фундаментальная научная задача.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлен опыт по использованию последовательностей при описании предметной области знаний «агроэкологические свойства земель» на формально-логическом языке UML. Использование последовательностей основано на понятии «источник данных», введённом авторами на основе предыдущего этапа концептуализации – диаграммы классов. Данный подход даёт возможность автоматического построения баз знаний на основе двух концептуальных понятий: «источники данных» и «последовательности». Данный вид диаграмм весьма информативен при описании процесса взаимодействия информации для решения отдельных задач. Становится доступной возможность последующей оценки жизнеспособности модели и ее проектирования в симбиозе с использованием инструментов для имитационного моделирования, а также математических методов анализа и обработки информации. Осуществление данного подхода

позволяет оперативно управлять структурной динамикой сложных информационных систем и уменьшать вероятность ошибки при их проектировании. Использование UML-диаграмм позволяет производить разработку архитектуры сельскохозяйственных информационных систем, а при их эксплуатации – автоматическую визуализацию результатов отдельных вычислительных операций.

Для предметной области «агроэкологические свойства земель» выделено 88 192 источника данных, каждый из которых представляет собой многомерный временной ряд. Быстродействие современных компьютеров позволяет регулярно (по мере обновления данных) обрабатывать эти источники данных попарно, как последовательности длины 2. К обработке двух временных рядов сводятся задачи анализа данных и обнаружения скрытых закономерностей. Возникает задача оценки пригодности используемого источника данных в сравнении с другим. Благодаря этой операции часть источников данных может быть исключена из рассмотрения. Методов попарной обработки временных рядов может быть несколько, полные результаты обработки могут быть зафиксированы в приемлемое время. Если всё-таки необходимо использовать более длинную последовательность (например, для описания какой-либо традиционной модели), то она должна состоять из нескольких последовательностей длины 2.

Особый интерес представляют источники данных, содержащие наиболее полные и надёжные временные ряды. В этом случае они будут образовывать закономерности с большим количеством других источников данных. Множество последовательностей, содержащих такой надёжный источник, можно объединять в более абстрактную сущность – объект UML. Объекты UML – тема следующей статьи цикла.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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.
2. 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. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-1-9
3. OMG Unified Modeling Language (Version 2.5) // Object Management Group. – 2017. URL: https://www.researchgate.net/publication/281633784_OMG_Unified_Modeling_Language_Version_25. 752 p.
4. Каличкин В.К., Корякин Р.А., Куценогий П.К. Интеллектуальные системы в сельском хозяйстве (теоретический анализ возможного приложения): монография. Новосибирск: СФНЦА РАН, 2020. 296 с.
5. Rountev A., Connell B.H. Object naming analysis for reverse-engineered sequence diagrams // Proceedings of the 27th international conference on Software engineering. 2005. P. 254-263. DOI: 10.1145/1062455.1062510
6. Rountev A., Volgin O., Reddoch M. Static control-flow analysis for reverse engineering of UML sequence diagrams // ACM SIGSOFT

Software Engineering Notes. 2005. Vol. 31. No. 1. P. 96-102. DOI: 10.1145/1108768.1108816

7. Tonella P., Potrich A. Reverse engineering of the interaction diagrams from C++ code // International Conference on Software Maintenance, 2003. ICSM 2003. Proceedings. IEEE, 2003. P. 159-168. DOI: 10.1109/ICSM.2003.1235418
8. Korshunova E. Petkovic, M., Van Den Brand, M.G.J., Mousavi M. R. CPP2XMI: reverse engineering of UML class, sequence, and activity diagrams from C++ source code // 13th Working Conference on Reverse Engineering. IEEE, 2006. P. 297-298. DOI: 10.1109/WCRE.2006.21
9. Architect, Enterprise. "Sparx systems." (2010). URL: <http://www.sparxsystems.com.au/products/ea/>.
10. IBM Rational Software Architect. URL: <https://www.ibm.com/devel-operworks/downloads/t/architect/>.
11. Visual Paradigm. URL: <https://www.visual-paradigm.com/features/>.
12. Altova UModel. URL: <http://www.altova.com/umodel.html>.
13. NetBeans UML. URL: <http://plugins.netbeans.org/plugin/1801/netbeans-uml>.
14. Renard K.G., Ferreira V.A. RUSLE model description and database sensitivity // Journal of environmental quality. 1993. Vol. 22. № 3. P. 458-466. <https://doi.org/10.2134/jeq1993.00472425002200030009x>
15. Papaioannidis S., Gitas I.Z., Katagis T. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in Google Earth Engine (GEE) cloud-based platform // Dokuchaev Soil Bulletin. 2019. Vol. 100. P. 36-52. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-100-36-52
16. Лисецкий Ф.Н., Светличный А.А., Черный С.Г. Современные проблемы эрозиоведения. – Белгород: Константа, 2012. 456 с.
17. Савельева Д.А., Каличкин В.К. Применение цифровых технологий при изучении водной эрозии почв Западной Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т. 49. № 4. С. 86-100. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-4-10
18. Хромых В.В. Оценка эрозионной устойчивости геосистем Крапивинского нефтяного месторождения средствами ГИС-технологий // Вопросы географии Сибири. – Томск, 2003. Вып. 25. С. 417-419.
19. Каличкин В. К., Корякин Р. А., Логачёва О. М., Грачев И.Г. Логика функционирования информационных процессов в аграрной интеллектуальной системе // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 9. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10916.
20. Хубаев Г. Н., Щербаков С. Н. Особенности построения и использования системы автоматизированного синтеза имитационных моделей СИМ-UML // Тр. VII всерос. научно-практ. конф. Имитационное моделирование: теория и практика. – М.: ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова, 2015. Т. 2. С. 400-403.
21. Розенберг Д., Скотт К. Применение объектного моделирования с использованием UML и анализа прецедентов. – М.: ДМК Пресс, 2002. 160 с.
22. Фаулдер М., Скотт К. UML. Основы. – СПб.: Символ, 2006. 184 с.
23. Буч Г., Максимчук Р.А., Энгл М.У., Янг Б.Дж. Коналлен Д., Хьюстон К.А. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений. 3-е изд. Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2008. 720 с.

CONCEPTUAL MODEL OF AGROECOLOGICAL PROPERTIES OF LAND. SEQUENCES

V.K. Kalichkin¹, R.A. Koryakin¹, K.Yu. Maksimovich¹, R.R. Galimov¹, N.A. Chernetskaya²

¹*Siberian Federal Scientific Centre of AgroBioTechnologies of the Russian Academy of Science, Novosibirsk region, Krasnoobsk, Russia*

²*Rubtsovsk Industrial Institute (branch), Altai State Technical University n.a. I.I. Polzunov, Rubtsovsk, Russia*

The process of creating sequences while describing subdiscipline in the formal-logical language UML is considered. The sequences usage is based on the concept of a "data source". It was deduced by the authors on the basis of the previous step of subdiscipline conceptualization «agroecological lands properties» - class diagrams. In the beginning link's class, one of the attribute set is selected, in the ending class - one of the adequate to this set methods (query). The result of repeated application this approach, with different values of the attributes of the central class, is a database (including spatial data). Attributes mediate the created model, methods, data streams and system requests, as, on the one hand, they are among the classes involved in sequence diagrams scripting, and on the other - belong to the outer shell of the model. Sequences diagrams were constructed by the examples of the information flow necessary for calculating the Selyaninov hydrothermal index and the degree of erosion for the working land area. These diagrams are "HydrothermalIndexQuery" and "ErosionDegreeQuery". Data for sequence diagrams is generated by Geological Information System (geographic coordinates of the working land area, digital terrain model) and the reference-information gateway "Weather and Climate". The proposed approach makes it possible to build knowledge bases with the scope of two concepts: "data sources" and "sequence" automatically. Knowledge structuralization and formalization allows produce a shift from collecting information to knowledge and its subsequent graphical image. Visualization helps to demonstrably provide insight into classes' connections that may occur not to be obvious. The possibility of subsequent estimate of model consistency, its creation process using simulation modeling tools, as well as mathematical analysis methods and processing of data becomes more accessible. Diagrams' data is used for subsystem construction and verification. These parts of a whole system were created in the process of forward and reverse engineering agricultural intelligence system.

Keywords: conceptual model, UML, sequence diagrams, domain knowledge, agroecological lands properties.

REFERENCES

1. Kalichkin V.K., Koryakin R.A., Maksimovich K.Yu., Sigitov A.A., Galimov R.R. A conceptual model of agro-ecological properties of the land. *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.
2. Kalichkin V.K., Koryakin R.A., Maksimovich K.Yu., Galimov R.R. A conceptual model of agro-ecological properties of the land. Methods. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2020, vol. 50, no. 5, pp. 77-86. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2020-1-9
3. OMG Unified Modeling Language (Version 2.5) // Object Management Group. – 2017. URL: https://www.researchgate.net/publication/281633784_OMG_Unified_Modeling_Language_Version_25_752_p.
4. Kalichkin V.K., Koryakin R.A., Kutsenogii P. K. Intellektual'nye sistemy v sel'skom khozyaistve (teoreticheskii analiz vozmoznogo prilozheniya) [I Intelligent systems in agriculture (theoretical analysis of a possible application)]. Novosibirsk, SFSCA RAS, 2020, 296 p. (In Russian).
5. Rountev A., Connell B. H. Object naming analysis for reverse-engineered sequence diagrams. *Proceedings of the 27th international conference on Software engineering*, 2005, pp. 254-263. DOI: 10.1145/1062455.1062510
6. Rountev A., Volgin O., Reddoch M. Static control-flow analysis for reverse engineering of UML sequence diagrams. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 2005, vol. 31, no. 1, pp. 96-102. DOI: 10.1145/1108768.1108816
7. Tonella P., Potrich A. Reverse engineering of the interaction diagrams from C++ code. *International Conference on Software Maintenance, 2003. ICSM 2003. Proceedings. IEEE*, 2003, pp. 159-168. DOI: 10.1109/ICSM.2003.1235418
8. Korshunova E. Petkovic, M., Van Den Brand, M.G.J., Mousavi M. R. CPP2XMI: reverse engineering of UML class, sequence, and activity diagrams from C++ source code. *13th Working Conference on Reverse Engineering. IEEE*, 2006, pp. 297-298. DOI: 10.1109/WCRE.2006.21
9. Architect, Enterprise. "Sparx systems." (2010). URL: <http://www.sparxsystems.com.au/products/ea/>.
10. IBM Rational Software Architect. URL: <https://www.ibm.com/devel-operations/downloads/r/architect/>.
11. Visual Paradigm. URL: <https://www.visual-paradigm.com/features/>.
12. Altova UModel. URL: <http://www.altova.com/umodel.html>.
13. NetBeans UML. URL: <http://plugins.netbeans.org/plugin/1801/netbeans-uml>.
14. Renard K.G., Ferreira V.A. RUSLE model description and database sensitivity. *Journal of environmental quality*, 1993, vol. 22, no 3, pp. 458-466. <https://doi.org/10.2134/jeq1993.00472425002200030009x>
15. Papaioannidis S., Gitis I.Z., Katagis T. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in Google Earth Engine (GEE) cloud-based platform. *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2019, vol. 100, pp. 36-52. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-100-36-52
16. Lisetskii F.N., Svetlichnyi A.A., Chernyi S.G. *Sovremennye problemy eroziovedeniya. – Belgorod: Konstanta = Modern problems of erosion studies. - Belgorod: Constant*, 2012, 456 p. (In Russian)
17. Saveleva D.A., Kalichkin V.K. Application of digital technologies in the study of water soil erosion in Western Siberia // *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2019, vol. 49, no 4, pp. 86-100. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2019-4-10

18. Khromykh V.V. Assessment of the erosion stability of the geosystems of the Krapivinsky oil field by means of GIS technologies / V. V. Khromykh // *Voprosy geografii Sibiri: [sbornik statei]. Tomsk = Questions of the geography of Siberia: [collection of articles]. Tomsk*, 2003, vol. 25. pp. 417-419. (In Russian)
19. Kalichkin V. K., Koryakin R. A., Logacheva O. M., Grachev I.G. The logic of the functioning of information processes in the agricultural intellectual system. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2020, vol. 34, no. 9. (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10916.
20. Khubaev G. N., Shcherbakov S.N. Features of construction and use of the system of automated synthesis of SIM simulation models-UML. *Trudy VII vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Imitatsionnoe modelirovanie: teoriya i praktika. – Moskva: IPU RAN imeni V.A. Trapeznikova = Proceedings of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference. Simulation modeling: theory and practice. – Moscow: IPU RAS named after V.A. Trapeznikov*, 2015, vol. 2, pp. 400-403. (In Russian).
21. Rozenberg D., Skott K. Applying object modeling using UML and analyzing use cases. – M.: DMK Press, 2002. 160 p. (In Russian).
22. Fauler M., Skott K. UML. The basics. – SPb.: Simvol, 2006. 184 p. (In Russian).
23. Buch G., Maksimchuk R.A., Engl M.U., Yang B.Dzh. Konallen D., Kh'yuston K.A. Object-oriented analysis and design with application examples. 3-e izd. Per. s angl. – M.: ООО «I.D. Vil'yams», 2008. 720 p. (In Russian).

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

Koryakin Roman Alexandrovich, Kandidat of Science in Physics and Mathematics, Senior Researcher

Maksimovich Kirill Yurievich, Graduate student, Junior Researcher

Galimov Rushan Ramilevich, Graduate student, Junior Researcher

N. A. Chernetskaya, Candidate of technical sciences