

Анализ функциональных требований к системе основной обработки склоновых земель: варианты использования

В.П. Максимов, А.Е. Ушаков

*Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт
Донской государственной аграрный университет*

Аннотация: Одной из основных причин, снижающих урожайность сельхозкультур, является переуплотнение почвы в результате многократного воздействия ходовых систем энергонасыщенных технологических машин. Склоновые земли в силу своих особенностей предполагают соответствующие технологии обработки. Однако современные орудия не могут реализовать эти требования. Применение методологии концептуального конструирования решает задачу разработки оптимальной структуры почвообрабатывающего орудия. Проблему создания инновационной системы обработки склоновых земель (СОСЗ) можно решить на базе современных информационных технологий в рамках целостности всего жизненного цикла. В UML моделирование развития системы осуществляется дополнительными динамическими диаграммами, где главную роль играют диаграммы вариантов использования или прецедентов. В работе приведена диаграмма прецедентов СОСЗ, которая формализовала взаимосвязи функциональных требований в виде целей, инициируемых конкретными участниками процесса создания системы СОСЗ заказчиком (землепользователем), экологом, экономистом и на основе компромисса с учетом финансово-технологических ограничений определила различные варианты использования, реализующие глобальную цель – «Повышение эффективности функционирования СОСЗ».

Ключевые слова: концептуальное конструирование, глубокорыхлитель, универсальный язык моделирования, варианты использования, диаграмма прецедентов.

Работа на склоновых землях предъявляет дополнительные требования к используемым технологиям [1]. Частично эти вопросы для уборочной и посевной техники решены за счет внедрения особых конструкций [2]. При создании высокоэффективной системы обработки склоновых земель (СОСЗ) определяющим является этап проектирования, который формирует будущее функционирование системы [3]. Самыми уязвимыми к возможным ошибкам являются начальные фазы проектирования, когда на концептуальном уровне определяется базовый инвариант структуры системы. Отметим, что на функционирование системы влияет множество внешних факторов, таких, как формы организации хозяйствующих субъектов и их соответствующие ресурсные возможности, многообразие обрабатываемых полей по площадям, типу почв, посевным культурам, форме профиля, климатическим условиям, экологии и т.п. Очевидно, что в этих условиях проблему создания инновационной системы

обработки склоновых земель (СОСЗ) можно решить на базе современных информационных технологий в рамках целостности всего жизненного цикла [4]. Современные технологии, используемые при разработке архитектуры системы, широко используют методологию объектно-ориентированного анализа [5,6] и универсального языка моделирования UML [7-9]. В работе [3] приведена методология концептуального конструирования СОСЗ на базе нотации и семантики универсального языка моделирования UML в виде тернарной объектно-целевой диаграммы классов (ОЦДК). Такая гибридная диаграмма по квалификации UML относится к блоку диаграмм статического типа. В результате разработана семантически непротиворечивая и полная модель базовой архитектуры орудия для основной обработки склоновых земель. Однако система СОСЗ не существует обособленно. Она взаимодействует как с землепользователем, так и с обрабатываемой почвой. При этом взаимодействие ограничивается не только состоянием почвы и углом склона, но и уровнем рентабельности, финансовыми и технологическими возможностями, а также экологической безопасностью. В UML дальнейшее моделирование развития системы осуществляется дополнительными динамическими диаграммами, где главную роль играют диаграммы вариантов использования или прецедентов [9-11].

Методика исследования. Развитие статической модели системы СОСЗ в UML осуществляется без нарушения построенного базового инварианта структуры путем видоизменения поведения объектов, что позволяет устранить или сгладить некоторые нежелательные недостатки и значительно повысить конкурентность разрабатываемого агрегата [9,10,12].

Прецедентом (*use case*) называется описание множества последовательных действий (включая варианты), выполняемых системой для того, чтобы эктор мог получить определенный результат [10,12]. Обычно *эктор (actor)* представляет роль, которую в данной системе играет человек или система. Диаграмма

прецедентов, или в российской транскрипции диаграмма вариантов использования, графически показывает взаимодействие пользователя (эктора) и системы СОСЗ. Список всех вариантов использования в явном виде определяет основные функциональные требования к системе, посредством которых может быть сформулировано техническое задание на производство инновационного агрегата [4,6,9].

Результаты и их обсуждение. Рассматриваемая система СОСЗ взаимодействует с экторами (профессиональными наблюдателями или другими системами), которые применяют СОСЗ для реализации собственных целей. При этом каждый из экторов предполагает, что система должна вести себя предсказуемым образом в соответствии с заданными целями. Диаграмма прецедентов объединяет все требования и специфицирует поведение системы посредством соответствующего описания множества вариантов, реализующих все заданные каждым из экторов цели. При этом прецедент определяет ряд последовательностей, каждая из которых показывает взаимодействие экторов, которые находятся вне системы, с системой в целом и её основными абстракциями, определяя функциональные требования к системе. Следует отметить, что прецедент только описывает действия системы, но не уточняет, как конкретно это выполняется [10,12,13].

Модель прецедентов представляет собой диаграмму (ДП), где эктор (наблюдатель) изображается пиктограммой в виде фигурки человека с именем, расположенным под ней, прецедент – эллипсом с именем внутри, а связи (отношения) – линиями. Нотация языка диаграммы прецедентов дополнена новыми типами связей (отношений), которые изображаются следующим образом. *Ассоциативная* связь (эктор – прецедент) – сплошная линия; *расширения* (базовый прецедент – расширяющий прецедент) – пунктирная со стрелкой на конце; *включения* (использующий прецедент – используемый прецедент) – пунктирная с заполненной стрелкой на конус; и *обобщения* (наследования):

прецедент – прецедент; эктор – эктор) – сплошной с незаполненной конусной стрелкой на конце [10-12].

Эволюция СОСЗ связана с изменением целей, их корректировкой или переформулированием ряда требований. Цель исследования оказывает определяющее влияние на разрабатываемые эктором сценарии, которые могут включать как весь объем происходящих событий, так и некоторые события, влияющие только на определенные объекты.

В анализируемом случае землепользователем определена задача повышения эффективности функционирования системы СОСЗ, что на диаграмме прецедентов комплексирования системы СОСЗ (рисунок 1) отражается соответствующим прецедентом «Повышение эффективности функционирования» (ПЭФ). Очевидные требования к СОСЗ предъявляются и со стороны эколога и экономиста. Эколог заботится о экологической безопасности работ через введение прецедента «Экологическая безопасность» (ЭБ), а требования экономиста заключаются в получении максимальной прибыли (ПР) при минимальных совокупных затратах, что инфицирует введение прецедента «Снижение совокупных затрат» (ССЗ), при этом реализация большинства прецедентов напрямую зависит от финансовых и технологических ресурсов и отражается прецедентом «Обеспечение финансово-технологическими ресурсами» (ОФТР). Отметим, что такие вопросы обычно решаются на интервале времени целеобразования и чаще всего не касаются декомпозиции целей на верхних уровнях.

Каждый прецедент предполагает выполнение определенного вида работ. Основной поток событий связан отношениями *обобщения* (наследования), где прецедент потомок наследует поведение и семантику своего родителя, которые инициированы через *ассоциативные* связи соответствующими экторами. Так ПЭФ взаимодействует с прецедентами «Снижение глубистости поверхности почвы» (СГПП), «Внесение удобрений» (ВУ), «Ускорение позиционирования

положения стоек» (УППСт), «Снижение тяговых усилий» (СТУ) и «Повышение надежности» (ПН). ССЗ взаимодействует с прецедентом «Система автоматического регулирования» (САР), которая в свою очередь имеет наследников «Автоматическое позиционирование стоек» (АПСт) и «Автоматическое регулирование скорости тягового трактора» (АРСТТ). ЭБ взаимодействует с прецедентами «Снижение воздействий ходовых систем» (СВХС), «Снижение ветровой эрозии» (СВетЭ) и «Снижение водной эрозии» (СВодЭ).

Связь экторов «Землепользователь», «Эколог» и «Экономист» через отношения *обобщения* подчеркивает их тесное взаимосодействие по реализации глобальной цели системы СОСЗ.

Начальный этап работы предполагает описание потоков событий прецедента выполнять в логически построенной текстовой форме. После уточнения и корректировки требований к системе осуществляется переход к диаграмме прецедентов:

$$PP = f(CЗ) \rightarrow \max \leftrightarrow CЗ = f(ЗТЦ, ЗТ) \rightarrow \min,$$

где ЗТЦ – затраты на операции технологического цикла; ЗТ – затраты на топливо.

ЗТЦ в основном зависят от технологии производства работ, например, последовательное выполнение операций (позиционирование стоек, основная обработка с созданием внутрипочвенной стенки, выравнивание обработанной поверхности) или их совмещение. ЗТ – зависят от обоснованного соответствия режимов работы орудия, в том числе скорости тягового трактора внешним условиям.

Очевидно, что максимальное снижение совокупных затрат при нынешнем многообразии состояний и типов обрабатываемых почв может быть достигнуто в результате применения системы автоматического регулирования (САР) в части автоматического позиционирования стоек (АПСт) и автоматического

регулирования скорости тягового трактора (АРСТТ), а также при выполнении всех технологических операций за один проход.

Требования эколога заключаются в гарантированной экологической безопасности природной среды (ЭБ) при выполнении технологических операций по обработке почвы. Под этим понимается минимально возможное воздействие на агроценоз, проявляющееся в следах ходовых систем, и соответствующих уплотненных зонах, разрушении почвенных агрегатов и возникновении усиливающей ветровую эрозию пылевидной фракции. При этом ходовые системы уплотняют почву на большую глубину, часто превышающую глубину основной обработки [7].

Реализация требований экологической безопасности заключается в максимально возможном снижении числа воздействий ходовых систем (СВХС), прежде всего за счет одновременного выполнения технологических операций. Это становится возможным в результате разработки соответствующей структуры (*St*) комбинированного орудия (КО), выполняющего все необходимые технологические операции за один проход почвообрабатывающего агрегата. Отмечаем, что понятие экологической безопасности также тождественно и целям снижения ветровой (СВетЭ) и водяной (СВодЭ) эрозии. Следовательно,

$$ЭБ \equiv СВетЭ \equiv СВодЭ \equiv СВХС \rightarrow \max$$

$$СВетЭ = f(ССтр) \rightarrow \max, \quad СВодЭ = f(СУСк, РПП) \rightarrow \max,$$

$$СВХС = f(Nпрох) \rightarrow \min,$$

где $N_{прох}$ – число проходов тяговой машины; $ССтр$ – сохранение стерни; $СУСк$ – сохранение устойчивости склона; $РПП$ – разуплотнение почвы.

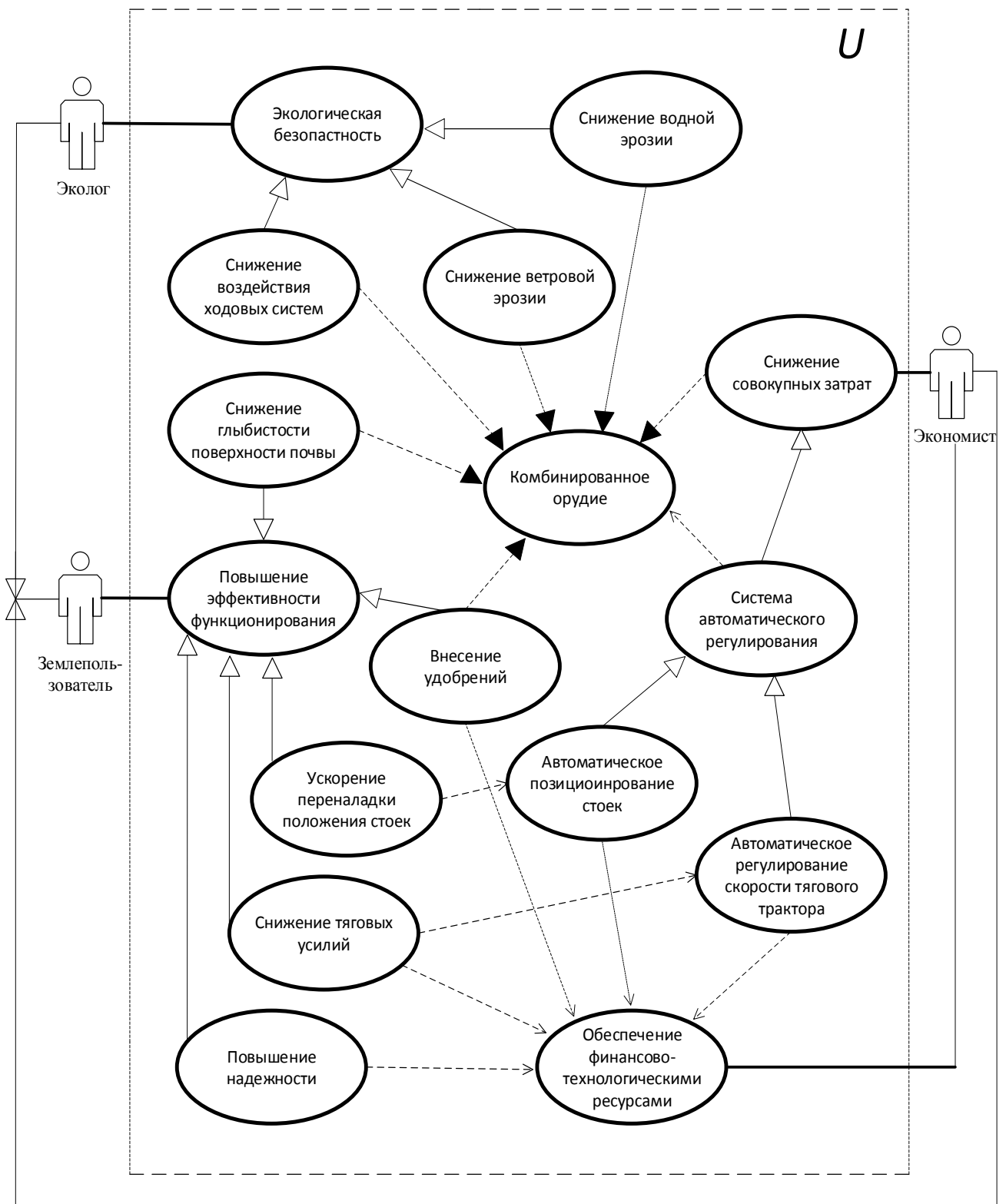


Рисунок 1. – Диаграмма прецедентов комплексирования системы СОСЗ

Целесообразность введения прецедента КО подтверждается логическим совмещением технологических операций по обработке склоновых земель через инкорпорирование в КО прецедентов СГПП, ВУ, СВХС, СВеТЭ, СВодЭ и ССЗ, что на ДП отмечается отношениями включения. В диаграммах UML инкорпорированный прецедент не присутствует самостоятельно, а является частью базового прецедента, который берет на себя и поведение инкорпорированных [11, 12]. Таким образом, прецедент КО позволяет комплексировать структуру целей базового инварианта ($St_{\delta u}$) системы СОСЗ, реализация которых через ОЦДК [3] позволяет в минимальном варианте (базовая комплектация) реализовать глобальную цель заданную прецедентом ПЭФ. Следовательно,

$$St_{\delta u} = \{СГПП, СВХС, СВеТЭ, СВодЭ, ССЗ\}.$$

Отношения расширения в ДП моделируют необязательное поведение системы. Так введенный экономистом посредством ассоциативной связи прецедент ОФТР позволяет в случае наличия соответствующих ресурсов значительно расширить возможности системы СОСЗ. Наличие дополнительных ресурсов позволяет комплексировать в максимальном варианте структуру (St_{max}) СОСЗ (максимальная комплектация), включающую все связанные отношения расширения перспективные инновационные разработки. Возможны и любые промежуточные варианты структуры (St_i). Следовательно, можно представить желаемую (в соответствии с ресурсами) структуру СОСЗ (St_i) в виде множества объединяющего базовую структуру ($St_{\delta u}$) и желаемое дополнение (St_j) в виде набора прецедентов из оставшейся части области U :

$$St_i = \{(St_{\delta u}, St_j) : St_{\delta u} \cup St_j \neq \emptyset, St_j \in (U \setminus St_{\delta u})\}.$$

Поскольку прецедент задает функциональные, в виде целей, требования к системе в целом и описывает, что должна делать система, без уточнения, каким образом это выполнить [9,10,12], то пути реализации функциональных требований могут быть описаны дополнительными динамическими диаграммами, например, диаграммами последовательности и деятельности, либо в виде сценария. Сценарий является дополнительной информацией, на базе которой проводится дальнейшая работа по оформлению окончательного варианта. Следовательно, прецедент можно специфицировать путем описания потока действий в текстовой форме, т.е. сценарием. Дополненные сценариями диаграммы прецедентов могут служить удобным и понятным средством общения между разработчиком и заказчиком.

Заключение. Развитие методологии концептуального конструирования СОСЗ происходит путем дополнения статической тернарной объектно-целевой диаграммы классов (ОЦДК) динамической диаграммой прецедентов (ДЦ). Диаграмма прецедентов позволяет не только формализовать взаимосвязи функциональных требований в виде целей, инициируемых конкретными участниками процесса создания системы СОСЗ (заказчиком (землепользователем) экологом и экономистом), но и разработать на основе компромисса с учетом финансово-технологических ограничений различные варианты использования, реализующие глобальную цель – «Повышение эффективности функционирования СОСЗ».

Литература

1. Михайлин А.А. Разработка новой ресурсосберегающей технологии обработки склоновых земель // Инженерный вестник Дона, 2012, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1525.
2. Claas. Products. URL: claasofamerica.com/company-claas-contact/claasof-america/dealer-locator.



3. Максимов В.П., Ушаков А.Е. Концептуальное конструирование орудий для основной обработки склоновых земель // Вестник аграрной науки Дона, 2020, №1. С. 53-59.
4. Волкова В.Н. Концепции современного естествознания: от физикализма к интегральным подходам // Прикладная информатика, 2010, № 1 (25). С. 119–125.
5. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем / 7-е изд. Москва: Изд-во Юрайт, 2012. 347 с.
6. Бенькович Е.С., Колесов Ю.Б, Сениченков Ю.Б. Практическое моделирование динамических систем. Санкт Петербург: БХВ-Петербург, 2002. 464 с.
7. Максимов В.П., Свечкарев В.П. Концептуальное конструирование инновационных проектов подпокровных агрегатов // Известия вузов. Сев.-Кавк. Регион. Техн. науки, 2005, Прил. №1. С. 2-7.
8. Максимов В.П. Анализ эффективности и построение обобщенных алгоритмов адаптации подпокровного фрезерователя // Инженерный вестник Дона, 2012, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/784
9. Свечкарев В.П. Системный анализ высокотехнологичных систем: информационный подход. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2006. 264 с.
10. Буч Грэди, Максимчук Роберт А., Энгл Майкл У., Янг Бобби Дж., Коналлен Джим, Хьюстон Келли А. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений; пер. с англ. 3-е издание. Москва: Бином, 2017. 720 с.
11. Мацяшек Л. А, Лионг Б. Л. Практическая программная инженерия на основе учебного примера; пер. с англ. 3-е изд. Москва: Бином, 2012. 956 с.
12. Рамбо Дж., Якобсон Л, Буч Г. UML: специальный справочник. Санкт Петербург: Питер, 2002. 652 с.
13. Jacobson I., Christerson M., Johnson P., Overgaard G, Object-oriented Software Engineering. Workingham, England: Addison-Wesly Publishing Company. 2002. 470 p.

References



1. Mihajlin A. A, Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1525.
 2. Claas. Products. URL: claasofamerica.com/company-claas-contact/claasof-america/dealer-locator.
 3. Maksimov V.P, Ushakov A.E, Vesting Agrarnoj Nauki Dona, 2020, No 1. pp. 53-59.
 4. Volkova, V. N, Denisov A. A. Prikladnaja informatika, 2010, No 1(25), pp. 119–125.
 5. Sovetov B.Ja., Jakovlev S.A. Modelirovanie system [System modeling]. 7-e izd, Moskva: Izdatel'stvo Jurajt, 2012. 347 p.
 6. Ben'kovich E.S, Kolesov Ju.B, Senichenkov Ju.B. Prakticheskoe modelirovanie dinamicheskikh sistem [Practical modeling of dynamic systems]. Sankt Petersburg: BHV-Peterburg, 2002. 464 p.
 7. Maksimov, V.P, Svechkarev V.P, Izvestija vuzov. Sev.-Kavk. Region.Tehn. nauki, 2005, Pril. No 1. pp. 2-7.
 8. Maksimov V.P. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/784.
 9. Svechkarev V.P. Sistemnyj analiz vysokotekhnologichnyh sistem: informacionnyj podhod. [Systematic analysis of high-tech systems: an informational approach]. Rostov-na-Donu: Izdatel'stvo SKNC VSh, 2006. 264 p.
 10. Buch Gradi, Maksimchuk Robert A., Engl Majkl U., YAng Bobbi Dzh., Konallen Dzhim, H'yuston Kelli A. Ob"ektno-orientirovannyj analiz i proektirovanie s primerami prilozhenij [Object Oriented Analysis and Design with Sample Applications], per. s angl. 3-e izd. Moskva: Binom, 2017. 720 p.
 11. Macjashek L. A, Liong B. L; Prakticheskaya programmnaya inzheneriya na osnove uchebnogo primera [Practical software engineering based on a case study], per. s angl, 3-e izd. Moskva: Binom, 2012. 956 p.
 12. Rambo Dzh., Jakobson L, Buch G. UML: special'nyj spravochnik. [UML: Special reference]. Sankt- Peterburg: Piter, 2002. 652 p.
-



13. Jacobson I., Christerson M., Johnson P., Overgaard G, England: Addison-Wesley Publishing Company. 2002. 470 p.