

УДК 574.5

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ И  
ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО  
СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ В  
СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОБЛЕМ БИОБЕЗОПАСНОСТИ**

**Григорьев А.Я.<sup>©</sup>**

*Харьковская государственная зооветеринарная академия*

***Аннотация.** Глобальные климатические изменения и темпы роста мировой экономики ставят под сомнение абсолютную и непреходящую ценность известного «закона Коммонера», гласящего: «Природа знает лучше». Соответственно возрастает актуальность проблемы управления природными биологическими системами, усилия по решению которой были, увы, в значительной степени скомпрометированы шокирующими результатами реализации некоторых широкомасштабных проектов «преобразования природы».*

*Задача управления экологическими системами (гидробиоценозами) малых водоемов и водотоков в силу понятных причин может быть решена относительно простыми и мало затратными методами. Формируя притом некую «сумму технологий», которая может быть использована и при реализации более масштабных проектов в области управления биопродукционными процессами.*

*В ходе сотрудничества при разработке вышеуказанных технологий дистанционного контроля и управления экологическим состоянием МВО применялся методический прием, для обозначения которого использовался введенный в оборот в ходе решения в ХНУ, ХНУРЭ и ХАИ более широкого круга экологических и медицинских проблем рабочий термин информационная поддержка разработки изобретений (ИПРИЗ) — по аналогии с термином АРИЗ, обозначающим созданные Г.С. Альтишуллером и получившие широкое международное признание алгоритмы разработки изобретений.*

*Применительно к практическим задачам обеспечения биобезопасности путем разработки технологий управления и контроля экологического состояния МВО моделировались структура и динамика колориметрических параметров, связанных с растительными пигментами фитопланктона и плавающих макрофитов. Имеются в виду колориметрические параметры, которые могут быть изменены дистанционно, в частности, путем цифровой фотографии с борта легких БПЛА в рамках разработки*

---

<sup>©</sup> Григорьев А.Я., 2016

## Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини

и практического применения технологий контроля и управления экологическим состоянием МВО. Речь идет о биотехнологиях, представляющих в настоящее время с точки зрения быстроты развертывания реализующих эти технологии систем и соотношения “затраты - эффективность” наиболее перспективными.

Представленные в настоящей статье результаты говорят о возможности создания в самое ближайшее время комплекса наукоемких технологий для решения путем управления биопродукционными процессами в малых реках и водоемах ряда остро стоящих проблем обеспечения биобезопасности.

На базе результатов этих комплексных исследований в дальнейшем возможно появление некоей “суммы технологий” обеспечения биобезопасности в более широких масштабах, а также для решения сопутствующих проблем. (К примеру, культивирование и транспортировка насыщенной ЗОФ воды могут потребоваться не только для коррекции экологического состояния малых водоемов, но и для использования их биопродукционного потенциала в целях повышения естественной кормовой базы промысловых рыб, что улучшит инвестиционную привлекательность соответствующих природоохранных проектов).

**Ключевые слова:** водоёмы, водотоки, экологическая безопасность, гидробиоценозы.

**Введение.** Глобальные климатические изменения и темпы роста мировой экономики ставят под сомнение абсолютную и непреходящую ценность известного «закона Коммонера», гласящего: «Природа знает лучше». Соответственно возрастает актуальность проблемы управления природными биологическими системами, усилия по решению которой были, увы, в значительной степени скомпрометированы шокирующими результатами реализации некоторых широкомасштабных проектов «преобразования природы».

Задача управления экологическими системами (гидробиоценозами) малых водоемов и водотоков в силу понятных причин может быть решена относительно простыми и мало затратными методами. Формируя притом некую «сумму технологий», которая может быть использована и при реализации более масштабных проектов в области управления биопродукционными процессами.

Вместе с тем, экологическое состояние таких, например, водных объектов как малые реки и связанные с ними искусственно созданные или возникшие естественным образом водоемы, расположенные на водосборных площадях более крупных водных объектов, оказывает существенное влияние на состояние биобезопасности разных видов водопотребления,

использующих эти последние. Следует заметить, что указанные малые водные объекты (МВО) и сами широко используются для водопотребления, в частности, для его видов, связанных с животноводством и соответственно с проблемами биобезопасности, входящими в сферу компетенции ветеринарной медицины.

Важным обстоятельством является то, что значительные части сети МВО часто расположены на обширных территориях, притом труднодоступной местности (заболоченные участки, заросли тростника, рогоза, камыша и других высших водных растений). Это обстоятельство обуславливает эффективность использования для контроля экологического состояния МВО дистанционных методов. В частности — относительно простых и малозатратных методов, предусматривающих применение легких беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Задачи контроля и управления живыми системами тесно связаны между собой и, кроме того, возможны ситуации, когда БПЛА могут быть использованы не только для контроля, но и для управления экологическим состоянием МВО, например, путем интродукции гидробионтов, развитие которых будет способствовать поддержанию или восстановлению гомеостаза гидробиоценоза.

Разработка технологий дистанционного контроля и управления экологическим состоянием МВО требует удобного в использовании полигона, который можно рассматривать как реальную модель МВО.

Роль такого полигона сыграла и продолжает исполнять система прудов Харьковского зоопарка и соединяющих их водотоков — в ходе сотрудничества зоопарка, Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина (ХНУ), Харьковского национального университета радиотехники (ХНУРЭ), Харьковской государственной зооветеринарной академии (ХГЗВА) и Национального аэрокосмического университета имени Н. Е. Жуковского (ХАИ) в разработке методов дистанционного контроля и управления экологическим состоянием МВО, совместимых с наиболее простыми в эксплуатации и относительно дешевыми модификациями легких БПЛА. Анализ полученных в ходе этого сотрудничества результатов и перспектив дальнейшей работы в этом направлении и представляет предмет настоящей статьи.

**Материал и методика.** В ходе сотрудничества при разработке вышеуказанных технологий дистанционного контроля и управления экологическим состоянием МВО применялся методический прием, для обозначения которого использовался введенный в оборот в ходе решения в ХНУ, ХНУРЭ и ХАИ более широкого круга экологических и медицинских проблем [5, 6] рабочий термин информационная поддержка разработки изобретений (ИПРИЗ) — по аналогии с термином АРИЗ, обозначающим созданные Г. С. Альтшуллером [1-4] и получившие широкое международное

признание алгоритмы разработки изобретений. В отличие от АРИЗ, основной смысл которых состоит в использовании комплексов дидактических и психологических приемов, а также методов постановки задачи, способствующих раскрепощению творческого воображения, ИПРИЗ базируется на современных информационных технологиях и методах формализации экологического материала, разрабатываемых в ХНУРЭ и ХАИ [14, 15], а также на обладающих мировой новизной и нашедших уже свое применение для исследования поведения систем на разных уровнях организации живой материи [8] новых, разработанных в ХНУ, классах математических моделей, получивших названия — дискретных моделей динамических систем (ДМДС) и аддитивных стохастических моделей (АСМ).

ИПРИЗ, подобно АРИЗ, предполагает построение и анализ неких идеальных образов предмета разработки. Но, в отличие от АРИЗ, построение этих идеальных образов в ИПРИЗ осуществляется с применением специально созданных для этой цели (с использованием ДМДС и АСМ) программных продуктов, которые позволяют на основе ограниченного, имеющего лакуны и не отражающего последовательность состояний исследуемой системы исходного фактического материала, восстановить структуру взаимных положительных и отрицательных влияний на динамику значений компонентов этой системы, а также таких же внутри компонентных влияний.

Исходный фактический материал для ДМДС и ИПРИЗ в целом получался путем цифровой фотографии естественных и искусственных тест-объектов, выполнявших роль натуральных моделей МВО, в прудах и водотоках зоопарка, с последующей компьютерной обработкой параметров RGB-модели цветного изображения указанных тест-объектов (по методикам, предоставленным ХАИ, аналогичным таковым, осуществляемым путем цифрового фотографирования с борта легких БПЛА).

**Полученные результаты.** На подготовительном этапе и параллельно с получением основных результатов работы были проанализированы ранее построенные с помощью ДМДС и АСМ [10] идеальные образы важных для решения задач управления и контроля МВО состояний систем на разных уровнях организации живой материи. Речь идет об образах этих состояний, построенных в виде граф или матриц отношений и позволяющих выделить в структуре компонентов системы комплексы обратных связей, связанных с механизмами, поддерживающими ее, данной системы, состояние динамического равновесия (гомеостаза). Отрицательные обратные связи гомеостаз поддерживают, положительные способствуют выводу системы из состояния динамического равновесия. Из двусторонних непосредственных связей в поддержании гомеостаза важную роль играют связи типа “плюс-минус”, во многих случаях описывающие отношения характеристи-

ки и результата процессов, существенных с точки зрения практических задач управления состоянием МВО. Для понимания роли в гомеостатических механизмах опосредованных связей между более чем двумя компонентами следует выделить:

а) контуры, ослабляющие отклонения (**КОО**) значений этих компонентов от некоего среднего уровня;

б) контуры, усиливающие указанные отклонения (**КУО**).

Речь также идет об образах этих состояний, построенных с использованием ДМДС в виде идеализированных траекторий системы (**ИТС**) и отражающих динамику системы — цикл изменения ее состояний, формирующийся на основе представленной в графе или матрице структуры внутрисистемных и межкомпонентных отношений при определенных начальных условиях.

Наличие КОО и КУО важно с точки зрения желательности поддержания в МВО стабильного экологического состояния (гомеостаза), чему способствует наличие КОО и для чего нежелательно наличие играющих значительную роль КУО. С другой стороны, если желательно вывести экологическую систему МВО из состояния гомеостаза (например, для быстрого наращивания биомассы каких-либо полезных кормовых или выполняющих функции агентов самоочищения воды организмов), увеличивается положительная роль КУО.

Анализ вида ИТС позволяет выявить характер связи между эффективностью, стабильностью системы и значениями давно используемого в экологии [13] шенновского показателя разнообразия и выравненности, с которыми в данном контексте ассоциируется степень совпадения максимальных и минимальных значений компонентов [9, 12, 17]. Кроме того, анализ вида ИТС дает информацию о соотношениях (в частности, полного или частичного совпадения) динамики разных компонентов, что позволяет в ряде случаев [11] рассматривать варианты технологий дистанционного контроля, основанные на замене относительно высокочастотных, трудоемких и сложных измерений некоторых параметров измерениями других параметров — не столь затратных, трудоемких и сложных. Следует особо отметить, что такая замена заметно расширяет (реально и в обозримой перспективе) сферу применимости такого перспективного дистанционного метода контроля экологического состояния МВО как цифровая фотосъемка с борта легких БПЛА. Такой, не имеющий непосредственного отношения к предмету настоящей статьи, но важный в более общем плане (с точки зрения биобезопасности), аспект присутствует, в частности, в полученных ранее результатах математического моделирования структуры и пространственного распределения крыс на территории Харьковского зоопарка: построенные на основе граф отношений ИТС позволяют найти закономерности

## Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини

сти, связывающие данные о динамике численности крысиной популяции, полученные методом пылевых площадок, с другими — более точными (что не всегда требует решения практических задач), но более трудоемкими и затратными.

Применительно к практическим задачам обеспечения биобезопасности путем разработки технологий управления и контроля экологического состояния МВО моделировались структура и динамика колориметрических параметров, связанных с растительными пигментами фитопланктона и плавающих макрофитов. Имеются в виду колориметрические параметры, которые могут быть изменены дистанционно, в частности, путем цифровой фотографии с борта легких БПЛА в рамках разработки и практического применения технологий контроля и управления экологическим состоянием МВО. Речь идет о биотехнологиях, представляющихся в настоящее время с точки зрения быстроты развертывания реализующих эти технологии систем и соотношения “затраты - эффективность” наиболее перспективными. Таковыми, на наш взгляд, достаточно обоснованно представляются следующие биотехнологии:

– использующие способность зоопланктонных организмов-фильтраторов (ЗОФ) освободить воду от бактериальной взвеси, содержащей потенциальных возбудителей опасных инфекционных заболеваний людей и животных (такая угроза биобезопасности была весьма актуальна во время резонансной даже в масштабах всей Европы экологической катастрофы, произошедшей в Украине (в Харькове) вследствие аварии Диканевских очистных сооружений в 1995 году);

– использующие происходящие в связанных с плавающими растениями сообществах гидробионтов биопродукционные процессы минерализации органических веществ и поглощения из воды минерализованных форм азота и фосфора (пример, также — весьма резонансный, естественного возникновения в сжатые сроки на десятки с лишним километрах речного русла такого сообщества гидробионтов имел место также на Харьковщине летом 2013 года: вследствие массового развития в наших умеренных широтах тропического растения *Pistia stratiotes*. Возникновение, можно сказать — без затрат, такого грандиозного биофильтра могло бы оказаться летом 1995 года очень кстати на харьковских реках, принявших тогда в себя на порядок превышающий расход воды в этих реках объем неочищенных бытовых сточных вод).

Использование ЗОФ возможно путем подачи к местам, где возникает необходимость в освобождении воды от бактериальной взвеси, больших объемов воды с высокими концентрациями таких, например, организмов, как некоторые представители рода *Daphidae*, способные в наших умеренных широтах образовывать в естественных условиях сообщества с высо-

кой численностью и биомассой. Речь может идти о значениях численности и биомассы, при которых вода в водоеме несколько раз за сутки проходит через фильтровальный аппарат этих крошечных рачков. Такой способ использования ЗОФ предполагает их культивирование в неких прудах-накопителях. Роль таких прудов-накопителей могут выполнять входящие в сеть МВО водоемы, входящие в эту же сеть водотоки могут использоваться для транспорта ЗОФ, а также для регулирования, путем водообмена между входящими в сеть МВО водоемами и водотоками, численности и биомассы как самих ЗОФ, так и организмов, которыми они питаются. Последняя задача предполагает контроль состояния биопродуктивных процессов в указанных водоемах и водотоках. В случаях, когда они расположены на обширных площадях труднодоступной местности, наилучшими в современных условиях представляются дистанционные методы контроля — путем цифровой фотографии с борта легких БПЛА. Как уже указывалось выше, такие методы могут быть разработаны на основе результатов математического моделирования структуры и динамики отношений значений колориметрических параметров, связанных с растительными пигментами. Сотрудниками ХНУ, ХГЗВА, ХАИ и ХНУРЭ на основе фактического материала, собранного на водоемах и водотоках Харьковского зоопарка с использованием ДМДС и методов, имитирующих цифровую фотографию с борта легких БПЛА, выявлены интересные закономерности. Полученные результаты [10, 11] свидетельствуют о следующем.

Закономерности отношений указанных колориметрических параметров воды, связанных с поглощением ЗОФ как живых, так и мертвых водорослевых клеток, полученные в результате математического моделирования, позволяют разработать дистанционные методы обнаружения в сети МВО водоемов, обладающих следующими двумя существенными в рамках рассматриваемых в настоящей статье практических задач особенностями:

- развитием высоких численностей и биомасс ЗОФ на основе высоких значений первичной продукции, без вмешательства человека, соответственно с минимальным привлечением финансовых, материальных и трудовых ресурсов;
- удобным расположением, позволяющим транспортировать в нужное место насыщенную ЗОФ воду по имеющимся в данной сети МВО водотокам с минимальным объемом необходимых для этого гидротехнических работ.

Использование происходящих в связанных с плавающими растениями сообществах гидробионтов биопродукционных процессов предполагает культивирование этих плавающих растений на больших площадях МВО. Необходимые для этого устройства могут быть чрезвычайно простыми — плавучие рамки, ограничивающие перемещение плавающих растений, предотвращающие их неконтролируемое распространение, облегчающие сбор и утилизацию их избыточной биомассы (в ряде случаев могут потребоваться дополнительные конструктивные элементы, защищающие плаваю-

щие растения от выедания). При размещении таких устройств на больших площадях труднодоступной местности возникают следующие проблемы:

- выбор мест, где характер биопродукционных процессов способствует высокой продуктивности плавающих растений;
- заблаговременное определение стадий развития сообществ плавающих растений, на которых необходимо изъятие их избыточной биомассы во избежание вторичного загрязнения воды продуктами ее отмирания и разложения.

Для решения первой из этих задач дистанционными методами полезными будут результаты [12] проведенного с применением ДМДС математического моделирования динамики вышеуказанных колориметрических параметров воды в прудах зоопарка, в которых наблюдалось или не наблюдалось массовое развитие интродуцированной в них *Pistia stratiotes*.

К решению дистанционными методами второй задачи созданы предпосылки результатами [16] проведенного с применением АСМ математического моделирования динамики структуры отношений указанных колориметрических признаков биомассы *Pistia stratiotes*. Моделировались ситуации, в которых в ближайшей перспективе было возможно отмирание биомассы, создающее опасность вторичного загрязнения воды, а также ситуации, в которых такая угроза безопасности водопотребления отсутствовала. Результаты моделирования дали, в частности, данные, необходимые для введения конструктивных элементов, необходимых для предотвращения этой угрозы, в устройство для культивации плавающих растений.

**Обсуждение и выводы.** Представленные в настоящей статье результаты говорят о возможности создания в самое ближайшее время комплекса наукоемких технологий для решения путем управления биопродукционными процессами в малых реках и водоемах ряда остро стоящих проблем обеспечения биобезопасности. Причем эта возможность обеспечивается результатами междисциплинарного взаимодействия, образующего некий вектор — от разработки новых классов математических моделей до испытания в полупроизводственных условиях использующих эти модели мало-затратных технологий управления экологическим состоянием объектов. (Хочется назвать этот вектор именем великого харьковчанина академика Бориса Еремеевича Веркина, под руководством которого подобная схема взаимодействия представителей “чистой” науки и сугубо народно-хозяйственной практики дала блестящие результаты в работе Физико-технического института низких температур).

На базе результатов этих комплексных исследований в дальнейшем возможно появление некоей “суммы технологий” обеспечения биобезопасности в более широких масштабах, а также для решения сопутствующих проблем. (К примеру, культивирование и транспортировка насыщенной ЗОФ воды могут потребоваться не только для коррекции экологического состояния малых водоемов, но и для использования их биопродук-

ционного потенциала в целях повышения естественной кормовой базы промысловых рыб, что улучшит инвестиционную привлекательность соответствующих природоохранных проектов).

Вывод о необходимости продолжения и развития работ, результаты которых представлены в настоящей статье, с учетом всего вышесказанного, представляется достаточно обоснованным.

#### **Литература**

1. Альтшуллер Г.С. Алгоритм изобретения / Г.С. Альтшуллер. — Москва : Московский рабочий, 1973. — 296 с.
2. Альтшуллер Г.С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач / Г.С. Альтшуллер. — Новосибирск : Наука, 1986. — 209 с. — (Серия «Наука и технический прогресс»).
3. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука / Г.С. Альтшуллер. — Москва : Советское радио, 1979. — 116 с.
4. Альтшуллер Г.С. Как стать гением: жизненная стратегия творческой личности / Г.С. Альтшуллер, И.М. Верткин. — Минск : Беларусь, 1994. — 479 с.
5. Дискретная модель системы с отрицательными обратными связями / Ю.Г. Беспалов, Л.Н. Дереча, Г.Н. Жолткевич, К.В. Носов // Вестник Харьковского Национального Университета. Серия «Математическое Моделирование. Информационные Технологии. Автоматизированные Системы Управления». — 2008. — № 833. — С. 27-38.
6. Исследование гелиобиологических эффектов с помощью дискретной модели динамических систем с обратными связями / Ю.Г. Беспалов, Г.Н. Жолткевич, К.В. Носов [и др.] // Астрономия на стыке наук: астрофизика, космология, радиоастрономия, астробиология : материалы VIII Международной Гамовской летней астрономической школы, (пос. Черноморка, 18-23 августа 2008 г.). - Одесса, 2008. — С. 12-13.
7. Патент України на корисну модель № 65753. Спосіб дослідження стану евтрофікації водного середовища // Ю.Г. Беспалов, К.В. Носов, О.Я. Григор'єв. - Опубл. 12.12.2011. Бюл. № 23.
8. Прогнозирование течения атопического дерматита у детей с использованием дискретного моделирования динамических систем / Е.В. Высоцкая, А.П. Порван, Ю.Г. Беспалов [и др.] // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2014. — Т. 3, № 4(69). — С. 21-25.
9. Григор'єв О.Я. Дискретна динамічна модель біомеханіки руху черепах, що зазнали впливу авітамінозу / О.Я. Григор'єв // Ветеринарна медицина : міжвідомчий тематичний науковий збірник. — 2014. — № 99. — С. 162-164.
10. Григорьев А.Я. Математическое моделирование влияния факторов зоопланктона на дистанционно определяемые спектральные характеристики водной экосистемы / А.Я. Григорьев // Ветеринарна медицина : міжвідомчий тематичний науковий збірник. — 2014. — № 98. — С. 151-154.

11. Математическая модель системных эффектов динамики спектральных характеристик травяного покрова, демаскирующих скопления саранчи / А.Я. Григорьев, Г.Н. Жолткевич, К.В. Носов, Ю.Г. Беспалов // Ветеринарна медицина : міжвідомчий тематичний науковий збірник. — 2014. — № 98. — С. 154-157.

12. Дискретные модели динамических систем, определяющих стабильность гидробиоценозов / А.Я. Григорьев, Г.Н. Жолткевич, К.В. Носов [и др.] // Ветеринарная медицина. — 2014. — № 99. — С. 164-167.

13. Одум Е. Экология / Е. Одум; пер. с англ. и предисл. проф. Алпатова В. В. – Москва: Просвещение, 1968. — 168 с.

14. Discrete Dynamical Modeling of System Characteristics of a Turtle's Walk in Ordinary Situations and After Slight Stress / Y. Bepalov, I. Gorodnyansky, G. Zholtkevych [et al.] // бионика Интеллекта,(Источник – оригинал). - 2011. - Vol. 3 (77). - P. 54-59.

15. The soil cover's disruption by modeling of ground vegetation parameters / O.V. Vysotska, G.N. Zholtkevych, T.A. Klochko [et al.] // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія «Радіотехніка. Радіоапаратобудування». — 2016. — № 64. — С. 101-109.

16. Discrete Modeling of Dynamics of Zooplankton Community at the Different Stages of an Antropogeneous Eutrophication / G.N. Zholtkevych, Y.G. Bepalov, K.V. Nosov, M. Abhishek // Acta Biotheoretica. – 2013. – Vol. 61(4). – P. 449-465.

17. Discrete Dynamic Model of Community of Species *Sus Scrofa* L Cubs in the Aviary. Science / G.N. Zholtkevych, K.V. Nosov, Y.G. Bepalov [et al.] // BharatBhasha.com. – 2009.

PROCESS DEVELOPMENT OF MANAGEMENT AND REMOTE CONTROL OF ECOLOGICAL CONDITION OF SMALL PONDS AND WATER COURSES CONSIDERING MODERN BIO-SAFETY ASPECTS

Author: A.Ya. Grigoryev

Kharkov State Zooveterinary Academy

Abstract. Considerable part of network of small waterponds is situated in vast put-of-the-way territories. This makes methods of remote control of their ecological state quite needful.

Workers of Kharkov National University as well as specialists from Kharkov Zooveterinary Academy and colleagues from Kharkov National University of Radioelectronics have used digital models of dynamic systems together with methods imitating digital photos to reveal consistent patterns that allow working out models of remote control and remote management.

Results that have been acquired make it possible to create a complex of high technologies to provide biosafety of bioproductive processes in small ponds and in small water courses.