

Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 519.25+616.1

Е.В. Высоцкая¹, А.В. Бетин², Ю.Г. Беспалов³, А.И. Печерская¹, А.С. Петренко¹

¹ Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

² Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков

³ Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ОТНОШЕНИЙ ДИСТАНЦИОННО ИЗМЕРЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ, ОТРАЖАЮЩИХ ПРОЦЕССЫ САМООЧИЩЕНИЯ ВОДЫ ОТ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ВЗВЕСЕЙ

Представлены результаты исследования, с помощью оригинального, имеющего мировую новизну, класса математических моделей, структуры отношений колориметрических параметров водной поверхности при дистанционной диагностике состояния водной экосистемы, включающей организмы, очищающие водоем от бактерий, создающих угрозу биобезопасности питьевого и других видов водоснабжения в регионе проведения мероприятий по ликвидации последствий техногенной катастрофы.

Ключевые слова: колориметрические параметры водной поверхности, математическое моделирование, дистанционное измерение параметров, траектория системы, матрица отношений.

Введение

Попадание в водоемы и водотоки больших количеств неочищенных бытовых сточных вод может создать серьезные угрозы биобезопасности питьевого и других видов водопользования. Эти угрозы, очень значительны при разрушении очистных сооружений – в чрезвычайных ситуациях, возникающих в результате природных катаклизмов или действия человеческого фактора, часто – при сочетании причин как того, так и другого характера. Следует сказать, что такие угрозы могут оказаться даже серьезнее обусловленных попаданием в источники питьевого водоснабжения токсических веществ. Это обусловлено тем, что неочищенные бытовые сточные воды являются благоприятной средой для массового развития микроорганизмов – возбудителей опасных инфекционных болезней, да и сами бытовые стоки часто содержат входящие в состав кишечной микрофлоры человека болезнетворные микроорганизмы. Резонансный пример такого рода угрозы биобезопасности имел место летом 1995 года в городе Харькове (Украина) – в результате аварии на одной из двух крупнейших городских станций биологической очистки сточных вод. Объем сброса этих вод в местные реки на порядок превышал расход воды в них выше по течению от места

сброса. По оценкам международных экспертов высока была вероятность возникновения эпидемий опасных инфекционных заболеваний не только в Украине и сопредельных государствах, но и в Западной Европе. Следует отметить, что в подобных случаях контроль над ситуацией в регионе, обеспечение общественной и национальной безопасности невозможны без решения проблем водоснабжения. Во время упомянутой харьковской катастрофы питьевое водоснабжение в значительной степени обеспечивалось завозом воды автоцистернами из других регионов и даже государств.

Вместе с тем, при столь масштабном загрязнении рек бытовыми стоками обеззараживание воды традиционными техническими средствами практически невозможно. Более того, даже в случае существования такой возможности ее нельзя было бы реализовать: обеззараживание воды в реках сопровождалось бы уничтожением всего живого в них, разложение такого количества трупов различных гидробионтов создало бы новую еще большую угрозу биобезопасности. Поэтому при ликвидации санитарно-гигиенических последствий подобных катастроф максимально должны быть использованы процессы естественного самоочищения природных вод. Соответственно, актуальнейшей задачей национальной

безопасности является в настоящее время разработка методов управления этими процессами.

Для устранения опасности, обусловленной попаданием неочищенных бытовых стоков, катастрофического ухудшения санитарно-гигиенического состояния водотоков и водоемов следует пойти путем максимального усиления и использования естественных процессов удаления из воды бактериальной взвеси, в составе которой могут оказаться возбудители опасных инфекционных заболеваний. Весьма эффективные естественные процессы удаления из воды бактериальной взвеси связаны с питанием зоопланктонных организмов-фильтраторов (ЗОФ). Непосредственно в пункте катастрофы может не оказаться достаточной для решения указанной задачи биомассы этих организмов. Но они могут находиться в достаточном количестве сравнительно недалеко, например, в пойменных водоемах реки, загрязненной вследствие катастрофы. Подача содержащей достаточно высокие концентрации ЗОФ воды из этих водоемов в загрязненную реку представляется вполне осуществимым во многих случаях мероприятием, которое является реальным методом управления естественными процессами самоочищения водной экосистемы от бактериальной взвеси. В связи с разработкой соответствующих технологий возникает задача определения водоемов, которые могут использоваться для подачи воды, обогащенной ЗОФ.

В ряде случаев, например, при использовании рисовых чеков или иловых площадок биологических очистных сооружений, задача эта сравнительно проста. Но во многих случаях речь будет идти о сборе информации о степени развития зоопланктона большого количества водоемов, расположенных на обширной площади, часто – труднодоступной местности, таких как пойменные и придаточные водоемы, запруженные участки малых рек и даже ручьев. (Эти последние, вследствие трудности их охраны, практически не используются для рыбозабоев, но могут быть использованы для культивирования зоопланктонных организмов-фильтраторов, которые в благополучной ситуации являются необходимым живым кормом для рыб, а в вышеупомянутых катастрофических ситуациях должны использоваться описанным выше образом).

В этих случаях появляется необходимость в дистанционных методах, желательна относительно дешевых и простых, таких, например, как цифровая фотография с борта легких беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), позволяющая измерять колориметрические параметры водных экосистем, обусловленные наличием в них хлорофилла и других растительных пигментов [1]. Раз-

меры и характер естественной окраски зоопланктонных организмов-фильтраторов не позволяют с помощью известных в настоящее время приемов дистанционно осуществляемой цифровой фотографии оценивать количество этих организмов непосредственно. Но возможна косвенная оценка – на основании математического моделирования их влияния на структуру и динамику отношений растительных пигментов. Речь идет о растительных пигментах, содержащихся в организмах фитопланктона, которые (наряду с бактериями) являются пищей ЗОФ. На практике такое моделирование придется осуществлять на основе фактического материала, не всегда отражающего реальную динамику во времени состояний исследуемой водной экосистемы, а также последовательность этих, различающихся по характеру связей между дистанционно определяемыми колориметрическими параметрами, состояний материала, часто имеющего лагуны по причинам чисто организационного и технического порядка (нелетная погода, плохая видимость пр.).

Возможность работы с таким материалом дает оригинальный, обладающий мировой новизной, разработанный в Харьковском национальном университете имени В.Н. Каразина класс математических моделей, получивший название дискретных моделей динамических систем (ДМДС), с помощью которого уже осуществлялось формализованное описание динамики и структуры отношений между компонентами систем самой разной природы [1 – 7]. Наряду с компонентами, физический и биологический смысл которых известен до начала построения ДМДС, используются [1, 7] латентные компоненты (ЛК), относительно которых изначально известно только то, что значения их корреляций с другими компонентами – нулевые. Такие значения корреляций наблюдаются, в частности, при отношениях обратной связи между компонентами по типу "+,-", свойственному, в устанавливаемом по принципу Ле-Шателье состоянию динамического равновесия, отношениям внутри пары компонентов, члены которой могут трактоваться как индикаторы характеристики и результата какого-то процесса. Этот тип связей может описывать также отношения "хищник-жертва".

По результатам ДМДС соответствующая трактовка ЛК может осуществляться экспертом, работающим с информационной системой поддержки принятия решений (ИСППР). В рамках затронутых в настоящей статье проблем биобезопасности речь должна идти о разработке ИСППР, располагающих базами данных (БД), которые содержат разнообразную информацию (месторасположение, размеры пр.) о водоемах с гидробионта-

ми – агентами естественного самоочищення воды, которые могут быть использованы для экстренной нормализации санитарно-гигиенического состояния рек, после катастроф на сооружениях биологической очистки. Как указывалось выше, к числу таких агентов относятся зоопланктонные организмы-фильтраторы. Важную роль может сыграть получаемая дистанционными методами информация о степени развития этих организмов в водоеме. Такую косвенную информацию может дать обработка с помощью ДМДС данных о дистанционно измеряемых колориметрических параметрах воды. При этом могут использоваться результаты моделирования динамики и структуры отношений не только компонентов, физическая природа которых известна до начала построения ДМДС, но также ЛК.

Известны построенные с помощью ДМДС модели динамики колориметрических параметров фитопланктона, в которых выраженное в условных баллах значение ЛК истолковывается как количество доступных для микроводорослей форм биогенных элементов [1]. Эти модели описывают системные аспекты динамики колориметрических параметров планктона, в принципе, позволяющие дистанционными методами, по результатам наблюдений в течение значительной части вегетационного сезона, выявить на местности водоемы с достаточным, для целей биобезопасности, развитием организмов-фильтраторов зоопланктона. Но степень развития разных групп зоопланктона в водоемах подвержена на протяжении вегетационного сезона существенным изменениям. А для реализации технологий устранения угроз биобезопасности, о которых идет речь, необходима информация не только о расположении на местности водоемов, содержащих достаточное количество организмов – агентов биологического самоочищения.

Необходима также информация и о периодах времени, когда имеет место значительное развитие этих агентов. В связи с этим возникает потребность в моделях, непосредственно описывающих динамику ЗОФ.

При получении информации дистанционно, с помощью размещенной на борту легких БПЛА аппаратуры для цифровой фотографии, большое практическое значение имеет увязка динамик фитопланктона и зоопланктона.

В ситуации, когда непосредственно доступна лишь информация о колориметрических параметрах фитопланктона, информация о динамике ЗОФ может быть получена опосредовано – с помощью использующего ДМДС формализованного описания динамики планктонного сообщества в целом, с интерпретацией значений ЛК, как показателей

развития зоопланктона. Такое формализованное описание и является предметом настоящей работы.

Материал и методика

ДМДС проводилось с использованием пиррсоновской корреляции и идеологии, основанной на законе Либиха [3], с использованием результатов производимого при естественном солнечном освещении цифрового фотографирования белого диска диаметром 100 мм, погружаемого на глубину 200 мм в воду двух декоративных прудов Харьковского зоопарка.

В одном из них, обозначаемом далее как пруд N1, зоопланктон находился под прессом усиленно выедающих его рыб (мелкий *Carassius carassius*), вследствие чего зоопланктонные организмы-фильтраторы практически отсутствовали. В другом, обозначаемом далее как пруд N2, факторы элиминации зоопланктона отсутствовали, и такой высокоэффективный фильтратор как *Daphnia magna* достигал концентрации до 100 экз./л, при которой дафнии способны до трех раз за сутки пропустить через свой живой фильтр воду, в которой находятся, освобождая ее от мелкой органической, в том числе бактериальной, взвеси.

Фотографирование осуществлялось фотоаппаратом CANON EOS-D-MARK-3 с расстояний от 2 до 3 метров в период с пятнадцатого июля по пятнадцатое августа 2014 года.

Фотографии обрабатывались с помощью программного пакета Image processing Toolbox MATLAB.

В качестве значений трех "цветовых", отражающих колориметрические параметры фитопланктона, компонентов системы выступали следующие величины: G/B, отождествляемый с концентрацией хлорофилла (живых, молодых, активно делящихся клеток микроводорослей) в воде пруда, R/G, отождествляемый с "желто-зеленым индексом", отражающим соотношение хлорофилла и желто-оранжевых растительных пигментов, (R+G)/B, отождествляемый с суммарной концентрацией в воде пруда живых и мертвых клеток микроводорослей, где R, G и B – количества соответственно красных, зеленых и синих элементов пикселя.

Четвертым был латентный компонент (LK) – значения коэффициента корреляции которого со всеми первыми тремя (цветовыми) равно нулю.

Полученные результаты

По результатам проведенного с применением ДМДС моделирования были построены идеализированные траектории системы, отражающие, присутствующие в прудах N1 и N 2 циклы изменений

значений упомянутых выше (в разделе "Материал и методика") компонентов системы. Вид этих ИТС представлен в табл. 1, 2, в которых строки – компоненты системы, столбцы – условные шаги по времени; значения компонент даны в баллах (1 – низкое, 2 – среднее, 3 – высокое), максимумы выделены жирным шрифтом.

Представленная в табл. 1 ИТС обладает рядом существенных общих черт с ранее полученной [1] для водоема, в котором фильтраторы зоопланктона не получили значительного развития. Значения латентного компонента могут быть интерпретированы как показатель наличия в воде доступных для микроводорослей форм биогенных элементов.

Таблица 1

Траектория системы,
следующая из ДМДС гидробиоценоза пруда N1

	Номера условных шагов по времени									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
G/B	1	1	1	1	1	2	3	3	3	2
R/G	1	1	1	2	3	3	3	3	3	2
(R+G)/B	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1
LK	1	2	3	3	3	3	3	2	1	1

Таблица 2

Траектория системы,
следующая из ДМДС гидробиоценоза пруда N2

	Номера условных шагов по времени							
	1	2	3	4	5	6	7	8
G/B	1	2	3	3	3	2	1	1
R/G	1	2	3	3	3	2	1	1
(R+G)/B	1	2	3	3	3	2	1	1
LK	1	1	1	2	3	3	3	2

Соответственно, отношения LK с G/B, интерпретируемым как показатель концентрации в воде живых клеток микроводорослей, строятся по типу "+,-". Такой же тип отношений наблюдается между значениями LK и (R+G)/B, что, в рамках используемой достаточно грубой модели, также укладывается в общепринятые представления о связи количества живых и мертвых клеток микроводорослей с обеспеченностью последних питательными веществами.

Характерной чертой обеих, полученной ранее [1] и представленной в табл. 1, моделей, является более раннее, в сравнении: с G/B и (R+G)/B, появ-

ление в цикле максимальных значений R/G – показателя, характеризующего "старение" фитопланктона, уменьшение в нем доли молодых, содержащих много хлорофилла, активно делящихся клеток. Этот, сильнее выраженный в ИТС, представленной в табл. 1, системный эффект может говорить о том, что в водоемах с незначительным развитием ЗОФ "старение" фитопланктона опережает его количественный рост.

В представленной в табл. 2 ИТС этот эффект отсутствует – изменения значений G/B, R/G и (R+G)/B происходят в одной фазе, что может быть объяснено активной жизнедеятельностью дафний. Их питание в равной степени освобождает воду от различающихся содержанием хлорофилла и других пигментов живых и мертвых водорослевых клеток. (Или даже имеет преобладание питания частицами отмершего фитопланктона и разлагающимися эти частицы бактериями над потреблением ЗОФ некоторых крупных форм фитопланктона в живом виде). В то же время выбрасываемые в воду в значительных количествах метаболиты дафний содержат аммонийный азот и другие, доступные для микроводорослей, формы биогенных элементов, что способствует ускорению скорости деления молодых, содержащих много хлорофилла клеток. Сочетание этих двух факторов препятствует проявлению в пруду N2 эффекта преобладания роста значений R/G, наблюдающемуся в пруду N1.

Такой же системный эффект динамики колориметрических параметров водоема со значительным развитием зоопланктонных организмов-фильтраторов, отличающий его от водоема, где такое развитие отсутствует, наблюдался и в ранее полученных моделях [1]. Он дает возможности с использованием дистанционных методов, на основе наблюдений в течение значительной части вегетационного сезона, отыскать на обширных участках местности водоемы со значительным развитием ЗОФ. Такие водоемы, как было сказано выше, пригодны для проведения мероприятий по усилению естественных процессов самоочищения воды от бактериальной взвеси.

Предметом же настоящей работы является также выявление эффектов, позволяющих дистанционно, например, путем цифровой фотографии с борта легких БПЛА, определять периоды в сезонной динамике этих водоемов, характеризующиеся значительным развитием ЗОФ. Ранее полученные модели [1] не позволяют выявить эффекты, связанные с этими периодами, поскольку эти модели не описывают динамики компонент, которые могут быть отождествлены с ЗОФ.

В рамках настоящей работы анализ ИТС, представленной в табл. 2, позволяет найти такие

эффекты, исходя из посылки, что значения LK могут быть интерпретированы как показатель развития зоопланктонных организмов-фильтраторов. Такая посылка вполне согласуется с наблюдаемой в этой ИТС картиной отношений значений LK и G/B, а также отношений между LK и (R+G)/B, отвечающих отношениям типа "+,-", реально наблюдаемым во многих случаях между фильтрами зоопланктона и фитопланктоном [8].

В соответствии с такой посылкой вид ИТС, представленной в табл. 2, дает основания для прогнозирования высокой степени развития зоопланктонных организмов-фильтраторов после наблюдаемых максимумов значений G/B и (R+G)/B. Этот вывод соответствует неоднократно зафиксированным гидробиологами, в определенном смысле – классическим [8], закономерностям чередования максимумов развития фитопланктона и зоопланктона. Он применим к водоемам, в которых динамика полученных в результате наблюдений в течение вегетационного сезона значений G/B, R/G, (R+G)/B, после обработки с использованием ДМДС, даст ИТС, вид которой ближе к виду ИТС, представленной в табл. 2, чем ИТС, представленной в табл. 1. Значимым критерием различия в данном случае является степень совпадения максимумов значений G/B, R/G и (R+G)/B. В случае подтверждения этого вывода с использованием данных более масштабных наблюдений на водоемах, которые могут быть использованы для решения вышеописанных проблем биобезопасности, представленные в данной статье результаты могут получить практическое применение для разработки дистанционных методов поиска биологических ресурсов усиления процессов самоочищения от бактериальных взвесей.

Обсуждение

Связанная с предметом настоящей статьи проблематика исследования, в связи с угрозами биобезопасности, параметров зоопланктона является в настоящее время весьма актуальной. В качестве примера можно привести работы К.Д. Хэмбрайта (Hambright KD) и Л.К. Брусца (Brucea LC) с соавторами [9, 10], описывающие подвергающуюся в настоящее время опасности массового развития токсичных цианобактерий экосистему озера Киннерет, которое является важнейшим источником питьевого и других видов водопотребления для Израиля и других ближневосточных стран. Моделированию, с использованием ДМДС, структуры и динамики зоопланктона высокогорного армянского озера Севан, в котором, в результате антропогенной эвтрофикации, стали наблюдаться вспышки биомассы цианобактерий, посвящена статья Г.Н. Жолткевича (Zholtkevych, G.N) с

соавторами [2]. Наиболее близкой по содержанию к настоящей статье является работа А.Я. Григорьева (Grigoryev A.Ya.) [1], в которой, с применением ДМДС, дается описание дистанционно регистрируемых колориметрических эффектов, позволяющих диагностировать наличие в водоеме фильтраторов зоопланктона – в количествах, имеющих практическое значение при проведении мероприятий по устранению угроз биобезопасности, в частности, связанных с наличием в воде больших количеств бактериальных взвесей. Представленные в упомянутой статье А.Я. Григорьева результаты математического моделирования, в принципе, позволяют дистанционно определять факт наличия в водоеме таких количеств организмов-фильтраторов зоопланктона, но не позволяют, на основе анализа характера связи динамик их количества и колориметрических параметров воды, дистанционно определять наилучшие, для устраняющего угрозы биобезопасности применения фильтраторов зоопланктона, периоды времени. Такую возможность дают представленные в настоящей статье результаты, проведенного с помощью ДМДС, математического моделирования динамики параметров водной экосистемы.

Выводы

Наряду с теоретическим, связанным с расширением представлений о структуре обратных связей и динамике параметров водной экосистемы, полученные результаты имеют также весьма актуальное практическое значение, связанное с остро стоящими в настоящее время проблемами биобезопасности. Речь идет о показанной в статье возможности использования ДМДС для создания новых методов дистанционного определения состояний водных экосистем с применением относительно простых и дешевых методов сбора исходного фактического материала – таких, например, как цифровая фотография с борта легких БПЛА.

Рекомендации

Полученные в настоящей статье результаты представляют, на наш взгляд, определенный интерес для специалистов в области теоретической биологии. Вместе с тем, они могут быть использованы при создании новых структур, обладающих широчайшими возможностями и полномочиями и обеспечивающих ликвидацию и предотвращение угроз биобезопасности различных видов водопотребления, которые возникают вследствие природных бедствий и техногенных катастроф. Такие структуры еще не созданы, но острая необходимость их создания в самое ближайшее время диктуется интересами не только экологиче-

скої, но також соціальної і національної безпеки. На озброєнні таких структур повинні бути ІСППР, що дозволяють визначати оптимальну стратегію використання ЗОФ, природні ресурси яких в певній місцевості, можуть визначатися дистанційними методами, з використанням ДМДС і цифрової фотографії - методами, передумови реалізації яких описані в цій статті.

Список литературы

1. 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.

2. Zholtkevych G.N. Discrete Modeling of Dynamics of Zooplankton Community at the Different Stages of an Anthropogenic Eutrophication / G.N. Zholtkevych, Y.G. Bespalov, K.V. Nosov, M. Abhishek // *Acta Biotheoretica*, (2013). – 61(4), 449-465. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://doi.org/10.1007/s10441-013-9184-6>.

3. Беспалов Ю.Г. Дискретная модель системы с отрицательными обратными связями / Ю.Г. Беспалов, Л.Н. Дереча, Г.Н. Жолткевич, К.В. Носов // *Вісник Харківського Національного Університету Серія «Математичне Моделювання. Інформаційні Технології. Автоматизовані Системи Управління»*. – 2008. – 833. – С. 27-38.

4. Исследование гелиобиологических эффектов с помощью дискретной модели динамических систем с обратными связями / Ю.Г. Беспалов, Г.Н. Жолткевич, К.В. Носов, В.С. Марченко, Г.П. Марченко, В.А. Псарев, А.Ю. Утевский // *VIII Международная Гамовская летняя астрономическая школа "Астрономия на стыке наук: астрофизики, космология, радиоастрономия, астробиология"*. – 2008. – С. 12-13.

5. Прогнозирование течения атопического дерматита у детей с использованием дискретного моделирования динамических систем / Е.В. Высоцкая, А.И. Порван, Ю.Г. Беспалов, К.В. Носов, В.А. Клименко, А.А. Трубицын // *Восточно-Европейский Журнал Передовых Технологий*. – 2014. – 3(4 (69)). – С. 21-25.

6. Discrete Dynamical Modeling of System Characteristics of a Turtle's Walk in Ordinary Situations and After Slight Stress / Y. Bespalov, I. Gorodnyanskiy, G. Zholtkevych, I. Zaretskaya, K. Nosov, T. Bondarenko, Y. Carroero // *Бионика Интеллекта*. – 2011. – 3 (77). – С. 54-59.

7. 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.

8. Константинов А.С. Общая гидробиология / А.С. Константинов. – М.: Высшая школа, 1967. – С. 227-228.

9. Effects of zooplankton grazing and nutrients on the bloom-forming, N₂-fixing cyanobacterium *Aphanizomenon* in Lake Kinneret / K.D. Hambright, T. Zohary, J. Easton, B. Azoulay, T. Fishbein // *Journal of Plankton Research*. – 2001. – 23. – P. 165-174.

10. A numerical simulation of the role of zooplankton in C, N and P cycling in Lake Kinneret, Israel / L.C. Brucea, D. Hamiltonb, J. Imbergera, G. Galc, M. Gophend, T. Zoharyc, K.D. Hambrighte // *Ecological Modelling*. – 2006. – 193. – P. 412-436.

Поступила в редколлегию 29.06.2015

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. А.И. Бых, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ ВІДНОСИН ПАРАМЕТРІВ, ЯКІ ВИМІРЮЮТЬСЯ ДИСТАНЦІЙНО, ЩО ВІДОБРАЖАЮТЬ ПРОЦЕС САМООЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД БАКТЕРІАЛЬНИХ СУСПЕНЗІЙ

О.В. Висоцька, О.В. Бетін, Ю.Г. Беспалов, А.І. Печерська, А.С. Петренко

Представлені результати дослідження, за допомогою оригінального класу математичних моделей, що має світову новизну, структури відносин колориметричних параметрів водної поверхні при дистанційній діагностиці стану водної екосистеми, що включає організми, які очищують водойму від бактерій, які створюють загрозу біобезпеці питного та інших видів водопостачання в регіоні проведення заходів щодо ліквідації наслідків техногенної катастрофи.

Ключові слова: колориметричні параметри водної поверхні, математичне моделювання, дистанційне вимірювання параметрів, траєкторія системи, матриця відносин.

MATHEMATICAL MODELING OF THE STRUCTURE OF RELATIONS REMOTE MEASURED PARAMETERS REFLECTS THE PROCESS OF WATER SELF-PURIFICATION FROM BACTERIAL SUSPENSIONS

O.V. Visotska, O.V. Betin, Ju.G. Bespalov, A.I. Pechers'ka, A.S. Petrenko

The results of the study, using an original having the world novelty, class of mathematical models, the structure of relations colorimetric parameters of the water surface by remote diagnostics of aquatic ecosystems, including organisms, purifying water body from bacteria that threaten Biosafety drinking and other water supplies in the region carrying out activities for liquidation of consequences of man-made disaster.

Keywords: the color of the water surface, mathematical modeling, remote measurement of parameters of the trajectory, matrix relations.