

УДК 502/504:556.3

А. Н. НАСОНОВ, А. В. НИКИФОРОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

И. В. ЦВЕТКОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный университет», г. Тверь

ФРАКТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ СТРОГИНСКОЙ ПОЙМЫ РЕКИ МОСКВЫ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Предложена методика моделирования и анализа антропогенной устойчивости водных объектов на основе построения их мультифрактальных моделей, учитывающих неоднородность вмещающей экосистемы. Экологические состояния предлагается оценивать путем наложения полученного мультифрактального образа водного объекта на выделенные формы его критической организации, отвечающим пределам восстановления структуры. Преимуществом методики является возможность унитарной численной оценки разнородных антропогенных нагрузок и сравнение их динамик, что позволяет сделать вывод о характере самоорганизации экосистемы, выявить показатели, динамика которых имеет вероятностную тенденцию приближения к критическим значениям активности. Методика эффективно дополняет стандартные способы расчета решениями переходных состояний, которые могут использоваться в структуре экологической реабилитации и управления развитием водных объектов. Отмечается, что экологические состояния Строгинской поймы реки Москвы характеризуются как метастабильно устойчивые, что является естественным для большинства природных объектов городской среды. Проводимые городские природоохранные мероприятия обеспечивают достаточно высокую сбалансированность внешних нагрузок, как в пространственном, так и временном распределении. Однако следует обратить внимание на группу биогенных элементов (нитраты, нитриты, и фосфаты), которые за период 2013–2014 гг. устойчиво доминируют экосистему водного объекта в контрольном створе ниже р. Сходни. Так же следует выделить токсикологическую группу: нефтепродукты и особенно марганец, имеющий не только предельно высокое значение фрактальной размерности, но и отдельные превышения установленного норматива ПДК.

Водный объект, экологические состояния, антропогенная устойчивость, фрактальное моделирование, критические формы организации.

Введение. Объектом исследований являлась акватория Строгинской поймы реки Москвы, для которой исследовалась динамика экологических состояний водного объекта в условиях неоднородного воздействия антропогенной нагрузки. В качестве исходных данных использовалась статистика изменений гидрохимических показателей по результатам их мониторинга в контрольных створах Строгинской поймы за период 2013–2014 гг. по данным Мосэкомониторинга. Анализируемые параметры системы выбраны в соответствии с ГОСТ 17.1.307-82 «Правила контроля качества воды водоемов и водотоков»

Замеры осуществляются в створах: 1 – контрольный створ ниже Рублевского гидроузла, 2 – контрольный створ в райо-

не Спасского моста Московской кольцевой автодороги, 3 – контрольный створ ниже впадения р. Сходни (рис. 1.). Для каждого створа была сформирована таблица статистических показателей неоднородного распределения антропогенной нагрузки и построены их временные ряды (таблица 1).

В настоящее время безальтернативным методом определения экологических состояний водных объектов является параметрическое нормирования к ПДК, и расчет индексов качества экосистемы, в частности, интегрального индекса экологического состояния [13; 14]:

$$\text{ИИЭС} = \frac{1}{n_b} \cdot \sum_{i=1}^{n_b} b_i, \quad (1)$$

где n_b – количество показателей, используемых для расчета индекса; b_i – оценочные баллы, экспертно присвоенные каждому показателю.



Рис. 1. Размещение контрольных створов Строгинской поймы реки Москвы

Индексы качества экосистемы, входящие в ИИЭС, рассчитываются по

формулам (2) и (3):

$$\text{ИКВ} = \sum_{i=1}^p \gamma_i \omega_i, \text{ при } \sum \gamma_i = 1 \quad (2)$$

где γ_i – вес показателя, входящего в общесанитарный ИКВ; ω_i – баллы, присваиваемые каждому показателю; p – число показателей.

$$\text{ИЗВ} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_{\text{в}}} = \frac{1}{6} \cdot \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}, \quad (3)$$

где n – число показателей, используемых для расчета индекса; C_i – концентрация химического вещества; ПДК_i – предельно допустимая концентрация вещества.

На основании приведенных показателей расчетных индексов (1)–(3) производится оценка качества экосистемы, которая не учитывает неоднородность пространственно-временного распределения антропогенной нагрузки. Во всех створах фиксируется напряженная экологическая ситуация (таблица 2).

Таблица 1

Статистические данные гидрохимических показателей в контрольном створе № 2

Показатели	Значения показателей по датам отбора проб (2014 г.)											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
pH	8,25	7,89	8,12	8,5	7,7	7,7	7,8	7,8	7,9	7,9	8,0	8,1
Раств. O ₂	14,7	15,6	12,5	8,4	8,2	9	7,9	8,3	8	8,8	8,3	9,1
БПК ₅	1,8	1,6	1,9	3,6	0,88	1,8	1,2	1,7	3,4	2,7	1,9	1,5
Взв. в-ва	2,5	2,7	32	14	5,5	12	4,4	8,4	5,2	4,7	5,1	4,9
Cl	18,7	17,2	14,5	19,8	16,6	13,9	17,2	16,7	18,2	17,3	19,8	23,2
SO ₄	12	17	21	25	13	10	10	11	10	13	18	15
PO ₄	0,092	0,087	0,074	0,052	0,19	0,2	0,23	0,27	0,2	0,23	0,29	0,26
NH ₄	0,33	0,3	0,25	0,17	0,67	0,25	0,33	0,27	0,35	0,21	0,28	0,26
NO ₂	0,067	0,062	0,049	0,038	0,037	0,082	0,118	0,127	0,07	0,09	0,081	0,075
NO ₃	4,15	3,34	2,19	3,5	0,89	1,3	1,3	4	0,89	2,1	2,7	3,1
Fe	0,123	0,103	0,087	0,159	0,145	0,117	0,096	0,141	0,092	0,121	0,134	0,125
Mn	0,042	0,057	0,05	0,055	0,273	0,173	0,088	0,045	0,035	0,041	0,047	0,063
Zn	0,005	0,006	0,005	0,005	0,005	0,006	0,005	0,005	0,005	0,0062	0,005	0,005
Нефт-ты	0,034	0,031	0,044	0,052	0,098	0,051	0,085	0,044	0,021	0,019	0,023	0,031
Фенолы	0,003	0,002	0,002	0,002	0,005	0,002	0,002	0,005	0,01	0,011	0,014	0,013

Таблица 2

Классификация экосистем по значениям ИИЭС

Класс качества экосистемы	Экологическое состояние	ИИЭС
1	Экологическое бедствие	≤ 1,69
2	Экологический кризис	1,70...2,39
3	Напряженная экологическая ситуация	2,40...2,99
4	Относительное экологическое благополучие	≥ 3,0

В действительности неоднородность распределения нагрузки приводит к появлению стохастических временных рядов, которые порождаются конкурирующими процессами поступления загрязняющих веществ антропогенной деятельности и процессами самоочищения природной среды, и зависят от большого количества факторов, структура и характер которых часто не известны (рис. 2).

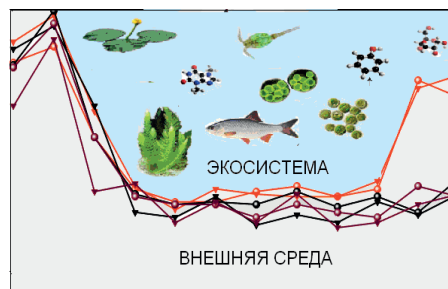


Рис. 2. Неоднородный характер взаимодействия водного объекта с внешней средой

Из таблиц 2, 3 следует, что решения, полученные на основе стандартных приведенных показателей расчетных индексов, относятся к классу детерминированных моделей, дискретно оценивающих классы качества

экосистемы водного объекта, что приводит к утрате решений его переходных форм. Это делает невозможным использование подобных моделей для оценки динамики состояний и принятия управленческих решений.

Таблица 3
Стандартный расчет экологических состояний в створе № 2

Створ № 2	Спасский мост											
Дата отбора	01.13	02.13	03.13	04.13	05.13	06.13	07.13	08.13	09.13	10.13	11.13	12.13
ИИЭС	2,72	2,72	2,6	2,52	2,68	2,72	2,72	2,76	2,76	2,72	2,76	2,80
Класс качества	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Напротив, применение фрактальной оценки экологических состояний позволяет контролировать динамику состояний на уровне структуры гидрохимических показателей, что становится возможным за счет сведения к разнородным показателям системы в единое метрическое пространство. Фрактальные модели позволяют описывать все многообразие состояний водного объекта, – от простых стабильно устойчивых, до сложных переходных, когда только намечается тенденция изменения этих состояний. При этом основной характеристикой фрактальности системы является ее размерность, или показатель скейлинга, описывающий повторяемость геометрии временных рядов показателей при изменении их масштаба [12]. При этом самоорганизация водного объекта рассматривается как его адаптация к внешней нагрузке, которая в фазовом пространстве состояний представляет собой переходный процесс минимизации ресурсных потерь на поддержание этой нагрузки. Как правило, эти процессы имеют характер затухающих колебаний, а достигаемые при этом состояния называются структурой-аттрактором, и рассчитываются через поведенческие тренды анализируемых показателей. Наличие аттрактора (структуры-аттрактора) обеспечивает сходимость антропогенной нагрузки в структуре вмещающей экосистемы при наиболее экономичном расходе внутреннего ресурса на ее поддержание [10].

Фрактальность порождает динамическую согласованность поведения составляющих подструктур экосистемы на всех уровнях ее

существования, обеспечивая тем самым высокую развитость связей обменных взаимодействий как внутри системы, так и с окружающей средой [2].

Материалы и методы. Процедура определения фрактальных размерностей водного объекта основана на измерении длин временных рядов ее параметров, инвариантных относительно преобразований масштаба, (фрактальных кривых). Фрактальная кривая на интервале $t \in [a, b]$ определяется как непрерывная и не дифференцируемая кривая, длина которой зависит от масштаба усреднения [9]. Если кривая близка к фрактальной, то с уменьшением масштаба ее длина будет возрастать степенным образом и рассчитываться через фрактальную размерность:

$$L(\delta) = L_0 \delta^{1-D}, \tag{4}$$

где $L(\delta)$ – длина фрактальной кривой временных рядов; L_0 – длина прямой, соединяющая 1-ю и последнюю точку измерений; δ – варьируемый масштаб усреднения измерений фрактальной кривой; D – фрактальная размерность.

Фрактальная размерность динамической величины определяет степень сложности ее временной кривой, – если построить график изменения антропогенной нагрузки от времени, то фрактальная размерность того или иного участка кривой будет мерой сложности ее структуры и определяться величиной и частотой скачков на выделенных интервалах (рис. 3). Таким образом, стохастичность временных рядов характерна для активных систем и порождаются сложными нелинейными процессами их взаимодействия с внешней средой. Однако нелинейный характер такого взаимодействия не означает хаоса в поведении водного объекта. Оно остается неизменным за счет иерархической согласованности поведения входящих подструктур (скейлинга), что называют

фрактальностью и количественно определяют как фрактальную размерность структуры системы:

$$D = 2 - \operatorname{tg} \alpha, \quad (5)$$

где α – угол наклона аппроксимированной прямой поведенческого тренда.

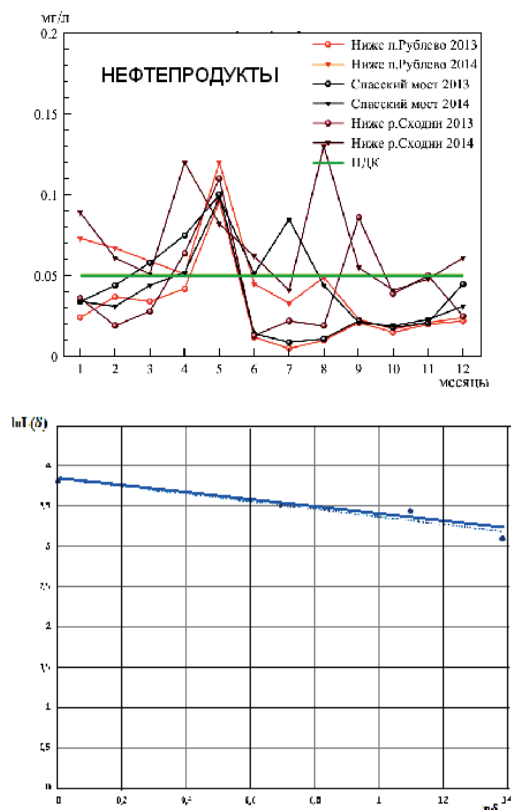


Рис. 3. Поведенческий тренд водного объекта по нефтепродуктам в контрольном створе № 2 за 2014 г.

В реальных условиях формируется не один, а сразу несколько поведенческих трендов, определяющих сложную мультифрактальную структуру водного объек-

та. Результаты расчета представляются в виде мультифрактального образа – фазовой диаграммы состояний, описывающей структуру распределений фрактальных размерностей анализируемых показателей водного объекта в точке его мониторинга (таблица 4).

Фрактальная размерность является универсальным индикатором состояния сложной системы, а ее изменение во времени по разным параметрам загрязнений дает серию фрактальных образов системы, по которым можно судить о характере действующих антропогенных факторов [11].

Для построения фазового портрета в фазовой плоскости, образованной осями по каждому параметру нагрузки, откладываем соответствующие значения фрактальных размерностей D_f с коэффициентом инвертирования

$$k_{\text{инв}} = 2/D_f - 1.$$

При этом более отстающие от центра диаграммы точки отвечают более устойчивым состояниям системы, а приближение к центру диаграммы соответствует переходу системы к более неустойчивому, вариативному экологическому состоянию. Чрезмерная антропогенная нагрузка приводит к сужению фазового портрета или увеличению его асимметрии, и, наоборот, сбалансированность нагрузки в структуре системы выражается в уменьшении асимметрии ее фазового портрета. Анализ динамики состояний водных объектов становится возможным с выделением на фазовой диаграмме характеристических форм состояний, или критических параметров порядка, связанных с пределами восстановления структуры.

Таблица 4

Расчетные значения фрактальных размерностей в контрольных створях Строгинской поймы реки Москвы

Параметры экосистемы	Низе п. Рублево		Спасский мост		Низе р. Сходни	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014
pH	1,21	1,23	1,25	1,29	1,22	1,22
Раств. O ₂	1,39	1,38	1,44	1,49	1,47	1,48
БПК ₅	1,29	1,34	1,35	1,35	1,31	1,39
Взв. в-ва	1,42	1,40	1,42	1,48	1,36	1,52
Cl ⁻	1,38	1,41	1,40	1,39	1,38	1,43
SO ₄ ²⁻	1,52	1,58	1,55	1,56	1,62	1,58
PO ₄ ³⁻	1,51	1,49	1,54	1,55	1,58	1,61
NH ₄ ⁺	1,38	1,42	1,38	1,31	1,35	1,34
NO ₂ ⁻	1,63	1,59	1,65	1,68	1,57	1,71
NO ₃ ⁻	1,59	1,65	1,64	1,61	1,67	1,72
Fe (общ.)	1,56	1,48	1,55	1,42	1,49	1,43
Mn ²⁺	1,61	1,55	1,63	1,65	1,59	1,65
Zn ²⁺	1,09	1,12	1,12	1,23	1,12	1,18
Нефтепродукты	1,51	1,47	1,49	1,52	1,50	1,51
Фенолы	1,19	1,15	1,25	1,10	1,11	1,14

В таблице 5 представлены характеристические формы системных состояний, обусловленные наличием критических значений фрактальных размерностей:

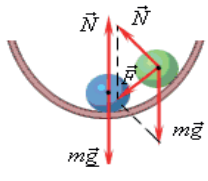
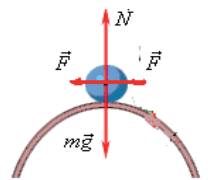
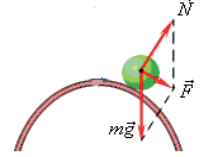
1. Устойчивые саморегулирующиеся состояния – состояния z водного объекта, которые не выходят за пределы его адаптационных возможностей:

$$1 < D \leq D_0 = 1,4. \tag{6}$$

Данная форма организации соответствует максимальным адаптационным возможностям системы для значений параметров порядка $D = D_0$, при которых обеспечивается предельная активность обменных взаимодействий с внешней средой, соответствующая ее максимальной открытости.

Таблица 5

Характеристические формы состояний водного объекта

Формы состояний водного объекта	Метафора экологической устойчивости
Устойчивые саморегулирующиеся состояния экосистемы $1 < D \leq 1,4$	
Квазиустойчивые (метастабильные) состояния равновесия, достигаемые за счет утраты системного разнообразия. $1,4 < D \leq 1,7$	
Неустойчивые состояния экосистемы, приводящие к бифуркации ее структуры $1,7 < D \leq 2$	

2. Квазиустойчивые (метастабильные) состояния равновесия, достигаемые за счет утраты системного разнообразия (самоорганизованная критичность):

$$1,4 < D \leq D_k = 1,7.$$

Эти состояния связаны с преобладанием активности антропогенной нагрузки над способностью водного объекта к самовосстановлению [9, 10]. Метастабильность является следствием превышения критического уровня системной организации $D_0 < D$, что создает нежелательные условия для разбалансирования обменных процессов системы и нарушения ее адаптационных свойств. Данные формы организаций также называют самоорганизованной критичностью, отличительной особенностью которых является их неравновесность и особая чувствительность к малым воздействиям.

3. Неустойчивые состояния системы – состояния, при которых происходит би-

фуркация структуры системы и переход к более простым формам существования. Этому способствует значительная утрата исходного разнообразия системы, связанная с активным развитием неконтролируемых диссипативных процессов:

$$1,7 < D \leq 2. \tag{8}$$

Полной утрате исходного разнообразия системы соответствуют значения параметров порядка $D = 2$. Таким образом, мультифрактальная модель (4) в виде фазовой диаграммы с учетом ограничений (6)–(8), охватывают все множество решений устойчивых и переходных форм состояний водного объекта. Это значительно расширяет возможности традиционного детерминированного моделирования с дискретными формами состояний.

Преимуществом предлагаемого подхода является возможность унитарной численной оценки разнородных антропогенных нагрузок и сравнение их динамик,

что позволяет сделать вывод о способности структуры системы к самовосстановлению, выявить показатели, динамика которых имеет тенденцию приближения к критическим значениям активности. При этом полученное семейство мультифрактальных портретов формирует динамику системы в двухмерном фазовом пространстве состояний.

Для оценки и принятия управленческих решений эти «портреты» накладываются на выделенные формы критической организации с параметрами порядка D_0 , D_k , что позволяет оценить антропогенную сбалансированность системы и ее способность к самовосстановлению в условиях неоднородности вмещающей экосистемы.

Большое значение в поддержке управляющих решений имеет визуализация модельных образов системы и в особенности ее скрытых переходных форм, что позволяет заранее предупредить наступление неблагоприятных экологических состояний и катастроф.

Предложенная мультифрактальная модель может быть эффективна в системах поддержки управленческих решений, когда необходимо оценить эффективность проведенных восстановительных мероприятий по выводу системы из нежелательных состояний. Такая возможность связана с использованием в модели предыстории параметрических наблюдений за системой, вытекающей из ее фрактальности. Прибавляя одну или несколько точек последующих измерений к старым временным рядам, можно получать новые временные ряды и производить сравнение параметрических динамик системы. На основании этого делаются выводы о характере изменения (тенденции) антропогенной устойчивости системы за фиксированный период наблюдений.

Результаты и обсуждение. Результаты фрактальной параметризации состояний Строгинской поймы реки Москвы представлены на рисунках 4–6. Полученные решения характеризуются как метастабильно устойчивые, что является естественным для большинства природных объектов городской среды. Проводимые городские природоохранные

мероприятия обеспечивают достаточно высокую сбалансированность внешних нагрузок, как в пространственном, так и временном распределении, на что указывает развитая структура полученных фазовых портретов в контрольных створах акватории поймы. Однако следует обратить внимание на группу биогенных элементов – нитраты, нитриты, и фосфаты, которые за период 2013–2014 гг. устойчиво доминируют экосистему водного объекта в контрольных створах ниже р. Сходни и Спасского моста. Так же следует выделить токсикологическую группу: нефтепродукты и особенно марганец, имеющий не только предельно высокое значение фрактальной размерности, но и отдельные превышения установленного норматива ПДК.

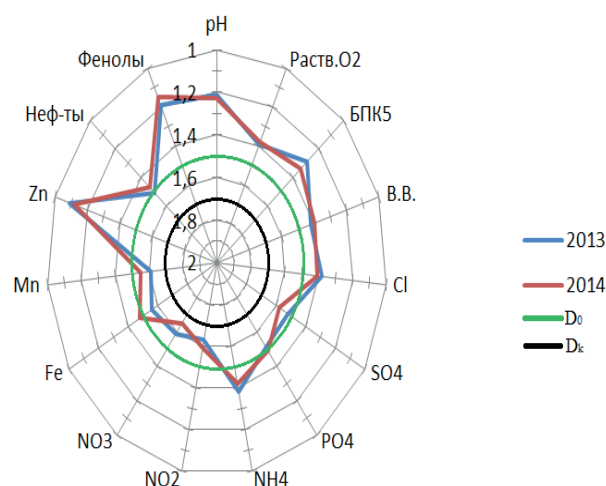


Рис. 4. Динамика экосистемы Строгинской поймы в створе № 1

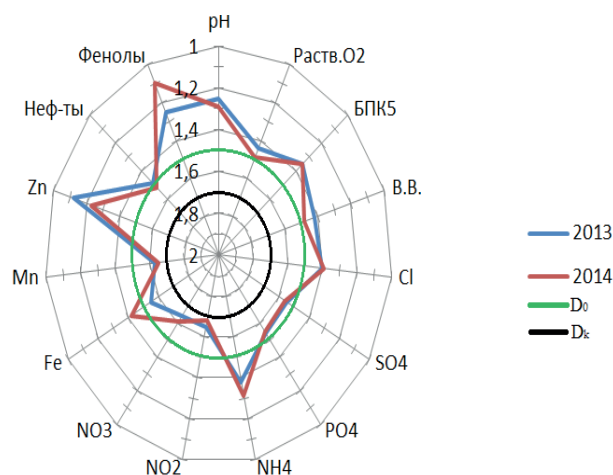


Рис. 5. Динамика экосистемы Строгинской поймы в створе № 2

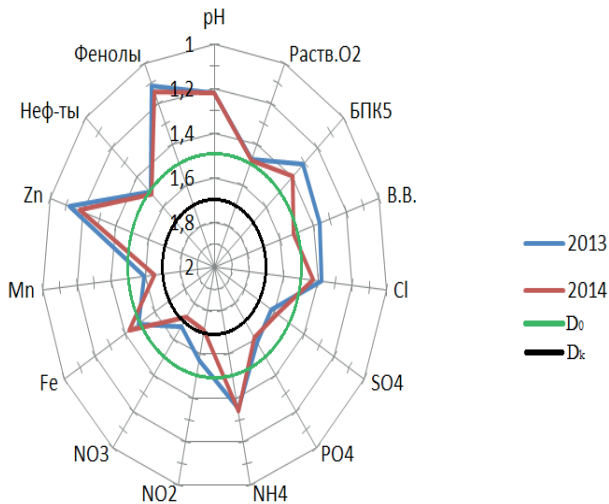


Рис. 6. Динамика экосистемы Строгинской поймы в створе № 3

Выводы

Преимуществом фрактальной параметризации является возможность унитарной численной оценки разнородных антропогенных нагрузок и сравнение их динамик, что позволяет сделать вывод о характере самоорганизации экосистемы, выявить показатели, динамика которых имеет вероятностную тенденцию приближения к критическим значениям активности. При этом полученный фазовый портрет отображает организацию экосистемы водного объекта в двухмерном фазовом пространстве состояний. Для оценки и принятия управленческих решений этот «портрет» накладывается на выделенные формы критической организации водного объекта – D_0 , D_k , что позволяет оценить антропогенную сбалансированность его динамики и способность к самовосстановлению в условиях неоднородности вмещающей экосистемы.

Фрактальная параметризация состояний водных объектов не противоречит и эффективно дополняет результаты, полученные с использованием традиционных методик, решениями для переходных форм экологических состояний. Это позволяет заранее обнаружить скрытую неустойчивость экосистемы и принять меры по ее регулированию. Для стабильно устойчивых или неустойчивых состояний оба метода одинаково эффективны. Для переходных состояний традиционные подходы не учитывают скрытую динамику экосистемы в отличие от фрак-

тального метода.

Экологические состояния Строгинской поймы реки Москвы характеризуются как метастабильно устойчивые, что является естественным для большинства природных объектов городской среды. Проводимые городские природоохранные мероприятия обеспечивают достаточно высокую сбалансированность внешних нагрузок, как в пространственном, так и временном распределении. Однако следует обратить внимание на группу биогенных элементов - нитраты, нитриты, и фосфаты, которые за период 2013–2014 гг. устойчиво доминируют экосистему водного объекта в контрольном створе ниже р. Сходни. Так же следует выделить токсикологическую группу: нефтепродукты и особенно марганец, имеющий не только предельно высокое значение фрактальной размерности, но и отдельные превышения установленного норматива ПДК.

В поддержке управляющих решений для водного объекта важны не отдельные превышения установленных нормативов ПДК, а динамика состояний, отражающая устойчивость его структуры в условиях изменяющейся внешней нагрузки. Это позволяет отслеживать моменты включения негативных факторов в динамике водного объекта и своевременно корректировать их последствия. Целью корректирующих мероприятий является стабилизация экологических состояний, за счет повышения сбалансированности внешних нагрузок. Для оценки эффективности корректирующих мелиоративно-восстановительных мероприятий возможно использование прежней статистики временных рядов выбранных показателей – путем прибавления к ним новых значений, полученных после проведения мероприятий. В этом случае по фазовым портретам отслеживаются произошедшие структурные изменения.

Библиографический список

1. Дубовиков М. М., Старченко Н. В. Эконофизика и анализ финансовых временных рядов // Сборник ЭАИ МИФИ «Эконофизика. Современная физика в поисках экономической теории». – М.: ЭАИ МИФИ, 2007. – С. 58 – 64.
2. Фрактальные аспекты структурной

устойчивости биотических сообществ / Д. Б. Гелашвили, Г. С. Розенберг, Д. И. Иудин [и др.] // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». – 2013. – Т. 5. – № 2. – С. 143–159.

3. MacArthur R. H. Fluctuations of animal populations, and measure of community stability // Ecology. – 1955. – V. 36. – № 7. – P. 353–356.

4. Hurlbert S. H. The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters // Ecology. – V. 52. – № 4. – P. 577–586.

5. Benoit B. Mandelbrot A Multifractal Walk Down Wall Street // Scientific American. – Feb. 1999. – P. 70–73.

6. Brillouin L. Science and information theory. – New York: Academic Press, 1956. – 320 p.

7. Реньи А. Трилогия о математике. – М.: Мир, 1980. – 376 с.

8. Renyi entropy as a measure of entanglement in quantum spin chain / F. Franchini, A. R. Its, V. E. Korepin // Journal of Physics A: Math. Theor. – 2008. – Vol. 41., 025302.

9. Цветков И. В. Использование фрактальных временных рядов в комплексном анализе речных систем: Моделирование сложных систем: сб. науч. трудов. – Тверь: Изд-во ТвГУ, 1998. – Вып.1 – С. 145–155.

10. Цветков И. В. Использование фрактальных временных рядов в комплексном анализе речных систем: Моделирование сложных систем: сборник научных трудов – Тверь: Изд-во ТвГУ, 1998. – Вып.1. – С. 145–155

11. Насонов А. Н. Сметанин В. И. Топологическое моделирование природно-техногенных систем // Природообустройство. – 2013. – № 1. – С. 11–16.

12. Kudinov A. N., Tsvetkov V. P.,

Tsvetkov I. V. Catastrophes in the Multi-Fractal Dynamics of Social-Economic Systems // Russian Journal of Mathematical Physics. – 2011. – Vol. 18. – № 2. – P. 149–155.

13. Масловская А. Г., Осокина Т. Р., Барабаш Т. К. Применение фрактальных методов для анализа динамических данных // Вестник Амурского государственного университета: Сер. Естеств. и экон. науки. – 2010. – Вып. 51 – С. 13–20.

14. Хабарова Е. И., Роздин И. А., Никитина С. В., Леонтьева С. В. Расчет и оценка эколого-значимых параметров: учебно-методическое пособие. – М.: МИТХТ, 2010. – 64 с.

15. Гигиенические требования к охране поверхностных вод: СанПиН 2.1.5.980-00. – М.: Минздрав России, 2000. – 23 с.

Материал поступил в редакцию 24.07.2015.

Сведения об авторах

Насонов Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация и технология строительства объектов природообустройства»; ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44; тел.: +7-926-207-09-54; e-mail: adn22@yandex.ru.

Никифоров Александр Владимирович, магистр ЗОС ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева; тел.: +7-968-957-89-66; e-mail: runningblinddhd@gmail.com.

Цветков Илья Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры «Экономика и управление производством»; ФГБОУ ВО ТвГУ; тел.: +7-910-646-12-30; e-mail: mamcu@maii.ru.

A. N. NASONOV, A. V. NIKIFOROV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

I. V. TSVETKOV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«The Tver state university», Tver

FRactal Modeling of the Dynamics of Ecological States of the Stroginskaya Floodplain of the Moscow River on the Basis of the Statistical Data of Hydro Chemical Indices

There is proposed a method of modeling and analysis of the anthropogenic stability of water objects on the basis of building their multifractal models taking into consideration heterogeneity of the containing ecosystem. Ecological states are proposed to be assessed by overlaying the obtained multifractal form of the water object on the selected forms of its critical organization meeting the limits of the structure restoration. The advantage of the method is a possibility of the unitary numerical evaluation of heterogeneous anthropogenic loads and comparison of their dynamics which allows drawing a conclusion about the character of the ecosystem self-organization, revealing indices the dynamics of which has a probabilistic tendency of approaching critical values of the activity. The method effectively adds standard means of calculation by decisions of transitional states which can be used in the structure of ecological rehabilitation and management of water objects development. It is noted that ecological states of the Stroginskaya floodplain of the Moscow river are characterized as metastable steady which is natural for most natural objects of the urban medium. The carried out urban environmental measures provide a rather high equilibrium of external loadings both in spatial and temporal distribution. However it is necessary to pay attention to the group of biogenic elements (nitrates, nitrites and phosphates) which for the period 2013–2014 steadily dominate the ecosystem of the water object in the controlled station downstream river Skhodnya. It is also needed to single out a toxicological group: oil products and in particular manganese which has not only a maximum high value of the fractal dimension but also some exceeding of the established norm MPC.

Water object, ecological states, anthropogenic stability, fractal modeling, critical forms of organization.

References

1. Dubovikov M.M., Starchenko N.V. Econophysics and analysis analysis of financial time series // Collection EAI MIFI «Ecophysics. Modern physics in searching economic theory». – M.: EAI MIFI, 2007. – P. 58 – 64.
2. Fractal aspects of structural stability of biotic communities / D.B. Gelashvili, G.S. Rosenberg, D.I. Iudin [and others] // The Interdisciplinary scientific and applied journal «Biosphere». – 2013. – V. 5. – № 2. – P. 143–159.
3. MacArthur R. H. Fluctuations of animal populations, and measure of community stability // Ecology. – 1955. – V. 36. – № 7. – P. 353–356.
4. Hurlbert S. H. The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters // Ecology. – V. 52. – № 4. – P. 577–586.
5. Benoit B. Mandelbrot A Multifractal Walk Down Wall Street // Scientific American. – Feb. 1999. – P. 70–73.
6. Brillouin L. Science and information theory. – New York: Academic Press, 1956. – 320 p.
7. Renyi A. Trilogy on mathematics. – M.: Mir, 1980. – 376 p.
8. Renyi entropy as a measure of entanglement in quantum spin chain / F. Franchini, A. R. Its, V. E. Korepin // Journal of Physics A: Math. Theor. – 2008. – Vol. 41., 025302.
9. Tsvetkov I.V. Usage of fractal timeseries in the complex analysis of river systems: Modelling of complex systems: collection of scientific papers. – Tver: Publishing house TvGU, 1998. – Iss.1. – P. 145–155.
10. Tsvetkov I.V. Usage of fractal time series in the complex analysis of river systems: Modeling of complex systems: – Tver: Publishing house TvGU, 1998. – Iss.1. – P. 145–155.
11. Nasonov A.N., Smetanin B.I. Topological modeling of natural – anthropogenic systems // Enviro Kudinov A. N., Tsvetkov V. P., Tsvetkov I. V. Catastrophes in the Multi-Fractal Dynamics of Social-Economic Systems // Russian Journal of Mathematical Physics. – 2011. – Vol. 18. – № 2. – P. 149–155.

12. Kudinov A. N., Tsvetkov V. P., Tsvetkov I. V. Catastrophes in the Multi-Fractal Dynamics of Social-Economic Systems // Russian Journal of Mathematical Physics. – 2011. – Vol. 18. – № 2. – P. 149–155.

13. Maslovskaya A.G., Osokina T.R., Barabash T.K. Usage of fractal methods for the analysis of dynamic data // Vestnik of the Amur state university: Ser. Natural and economic sciences. – 2010. – Iss. 51 – P. 13–20.

14. Khabarova E.I., Rozdin I.A., Nikitina S.V., Leontjeva S.V. Calculation and assessment of ecologically significant parameters: tutorial. – M.: MITHT, 2010. – 64 p.

15. Hygienic requirements to surface water protection: SanPiN 2.1.5.980-00. – M.: Minzdrav of Russia, 2000. – 23 p.

Information about the authors

Nasonov Andrey Nikolaevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Organization and technology of building objects of environmental engineering»; FSBEI HERSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Boljshaya Akademicheskaya, 44; tel.: +7-926-207-09-54; e-mail: adn22@yandex.ru.

Nikiforov Alexander Vladimirovich, master ZOS FSBEI HERSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; tel.: +7-968-957-89-66; e-mail: runningblinddhc@gmail.com.

Tsvetkov Ilya Victorovich, doctor of technical sciences, professor of the chair «Economics and management of production»; FSBEI HETvGU; tel.: +7-910-646-12-30; e-mail: mamcu@mail.ru.

УДК 502/504:630.266

А. И. ПЕТЕЛЬКО

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Новосильская зональная агролесомелиоративная опытная станция имени А. С. Козменко Всероссийского научно-исследовательского агролесомелиоративного института», г. Мценск

А. Т. БАРАБАНОВ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский агролесомелиоративный институт», г. Волгоград

ПОКАЗАТЕЛИ СТОКА ТАЛЫХ ВОД ЗА 1959–2008 ГОДЫ

В статье приводятся научные исследования по снегозапасам, стоку талых вод на яблевой вспашке, уплотненной пашне за 50 лет. На Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции впервые применен комплексный подход по защите почв от водной эрозии, предложена противозерозионная организация территории по рациональному использованию эродированных земель. Из агротехнических мероприятий наиболее эффективной оказалась глубокая яблевая вспашка. Углубление пахотного слоя на 1 см обеспечивает уменьшение поверхностного стока от 4 до 41 м³/га. Сильное увлажнение почвы с осени, период глубоких оттепелей зимой, образование ледяной корки в отдельные годы способствуют снижению эффективности глубокой вспашки. Происходит увеличение весеннего стока из-за глубокого промерзания почвы и образования ледяного экрана. Испытание агротехнических вододерживающих обработок показало, что уменьшение поверхностного стока талых вод на серых лесных почвах происходит на глубокой яблевой обработке. Наблюдения за 50 лет показали, что осредненный сток с зяби равнялся 20,5 мм, коэффициент стока – 0,217, а на уплотненной пашне эти показатели, соответственно, несколько выше – 29,3 мм и 0,300. Увеличение стока произошло на 8,8 мм, коэффициента стока – 0,083 по сравнению с зябью. В многолетних рядах выявлены величины поверхностного стока на разных агрофонах. Полученные многолетние материалы необходимы при проектировании комплекса противозерозионных мероприятий.

Эрозия почв, яблевая вспашка, уплотненная пашня, запасы снега, поверхностный сток, коэффициент стока.

Водная эрозия почв приносит значительный ущерб сельскому хозяйству и является экологическим бедствием.

Необходимо постоянно вести борьбу с ней на государственном уровне. Для решения этой задачи нужно использовать