

ИЗОМОРФИЗМ

СИСТЕМОФОРМИРУЮЩИХ

ПРИЗНАКОВ р. Дон

Рассмотрен комплекс системоформирующих признаков р. Дон, включающий в себя метеорологические и гидрохимические характеристики. Количественно охарактеризован их изоморфизм, проявляющийся в сходстве временных рядов температур воздуха, а также в корреляции гидрохимических режимов сопряженных водохозяйственных участков. Показана возможность использования показателей изоморфизма для индикации уровня внутрисистемной сбалансированности речной системы.

Введение

Водосборные бассейны рек с генетически ярко выраженной стадийностью развития и общим системообразующим фактором – речным стоком, являются высокоинтегрированными, иерархически естественным образом выстроенными природными системами. Их состояние определяется сложным комплексом системоформирующих признаков, взаимосвязи между которыми обуславливают внешние признаки функционирования систем и каналы обмена с окружающей средой. Вследствие эволюционной заданности развития любой системы ее элементы, тождественные по генетическим свойствам, должны обладать сходством одноименных характеристик или, в соответствии с терминологией системного анализа, изоморфизмом (от *греч.* *isos* – «равный» и *morphe* – «форма». «Два объекта-системы одной и той же системы называются изоморфными, если между их элементами можно установить взаимно-однозначное соответствие, при котором рассматриваемые свойства одной системы переходят в отмеченные свойства другой системы» [1]. Максимальной степенью системного сходства является тождество, а его наиболее распространенной формой – неполное сходство [2].

В ходе своего эволюционирования природно-техногенная система может развиваться по прогрессивному или регрессивному пути. Для первого направления характерно умень-

Е.И. Шаврак*,
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной экологии, Волгодонский инженерно-технический институт Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

шение внутрисистемных противоречий за счет поддержания и усиления генетически заданных отношений между однородными элементами системы, т.е. усиления их сходства. Напротив, при регрессивном пути наблюдается снижение общего уровня внутрисистемной сбалансированности [3]. Как следствие, инициируется процесс детериорации системы, сопровождающийся уменьшением степени изоморфизма. Таким образом, показатели изоморфизма, характеризующие степень сходства одноименных характеристик элементов одной и той же системы, могут быть использованы для оценки уровня внутрисистемной организованности, а их пространственно-временная динамика – для определения соответствующих тенденций развития системы.

Целью данной работы является идентификация пространственных особенностей изоморфизма отдельных элементов (водохозяйственных участков) одной из крупнейших рек России р. Дон. Оценивалась степень сходства показателей, отражающих процессы формирования количественных и качественных характеристик речного стока. Их комплекс включает в себя множество параметров, отличающихся между собой по масштабу и природе системоформирующих факторов. В связи с этим область исследования ограничили анализом сходства климатических условий, определяемых, в основном, действием природных факторов внеземного и глобального происхождения, а также рассмотрением изоморфизма гидрохимических режимов, обусловленных локальными, региональными особенностями и внутрисистемными процессами.

* Адрес для корреспонденции: npi-ecology@rambler.ru

Материалы и методы исследования

При исследовании изоморфизма рассматривались два вида информации – климатическая и гидрохимическая.

В качестве источника метеоданных использованы архивы Государственного фонда данных о состоянии природной среды [4]. Сделана выборка результатов многолетних регулярных метеонаблюдений за температурой воздуха (**ТВ**) и количеством осадков (**КО**), проводившихся на 5 станциях Гидрометслужбы, расположенных в бассейне р. Дон. В их число входили станции, расположенные в городах Тамбов, Воронеж, Калач-на-Дону, Цимлянск, Ростов-на-Дону и имеющие одноименные названия. Границы рассматриваемых периодов определялись имеющейся в Госфонде информацией. В данной работе анализировались временные ряды среднегодовых, среднемесячных (взятых для каждого года отдельно), усредненных дневных значений (для каждого месяца отдельно) ТВ (1954-2008 гг.) и КО (1966-2008 гг.). В *табл. 1* приведены характеристики метеостанций, а также периоды и продолжительность рассматриваемых временных рядов.

Идентификация изоморфизма гидрохимических режимов проводилась как для р. Дон и основных притоков на всем ее протяжении от истока до устья, так и более подробно для Цимлянского водохранилища (**ЦВ**), расположенного между г. Калач-на-Дону и г. Цимлянск, и его приточности. Информация о рассматриваемых створах и притоках приведена в *табл. 2* и *3*.

Для характеристики гидрохимических особенностей р. Дон использованы результаты систематических наблюдений, проводимых Донским бассейновым водным управлением и Северо-Кавказским межрегиональным территориальным управлением Росгидромета в период 2001-2008 гг. [5], а также данные гидрохимического мониторинга ЦВ (2000-2009 гг.), осуществляемого аккредито-

Ключевые слова:

изоморфизм,
Дон,
температура воздуха,
гидрохимический
режим,
внутрисистемная
сбалансированность

ванной лабораторией ФГУ «Управление водными ресурсами Цимлянского водохранилища», и результаты собственных исследований [6].

В связи с тем, что перечень анализируемых в пробах речной воды веществ неодинаков, годовые объемы наблюдений недостаточны по частоте наблюдений, в некоторых створах имеются пропуски в отдельные годы нами рассматривался изоморфизм для определенного набора компонентов, охарактеризованных значениями, усредненными за несколько лет.

В этот набор, включающий основные ионы, органические вещества, биогенные элементы, тяжелые металлы, входит 11 ингредиентов: сульфаты, магний, ХПК, БПК₅, нефтепродукты, азот аммонийный, азот нитритный, фосфор фосфатов, железо общее, медь, цинк. В качестве расчетного периода усреднения концентраций выбран период 2004-2007 гг., отличающийся наибольшей полнотой информации по всем рассматриваемым створам и притокам. В исследованиях использованы средние (медианные) концентрации ингредиентов.

Идентификацию изоморфизма характеристик сравниваемых объектов осуществляли путем установления сходства между их одноименными показателями. В этих целях использовали корреляционно-регрессионный анализ (непараметрический метод Спирмена и параметрический метод Пирсона) и фрактальный R/S-анализ. В качестве характеристик изоморфизма рассматривали только статистически значимые взаимосвязи. Оценка значимости проводилась с помощью «нулевой гипотезы» P_0 , утверждающей, что зависимость отсутствует. Значимыми считались те взаимосвязи, для которых $P_0 \leq 0,05$, т.е. гипотеза о наличии связи подтверждается с вероятностью $100(1 - P_0) \geq 95\%$.

На первом этапе исследования с помощью непараметрической статистики, отличающейся меньшей чувствительностью к виду



Таблица 1

Источники и виды используемой метеоинформации

Характеристики метеостанций			Характеристики временных рядов			
Название	Координаты	Расстояние от истока р. Дон, км	Ряды ТВ		Ряды КО	
			Период (гг.)	Число лет	Период (гг.)	Число лет
Тамбов	52°72'N; 41°42' E.	346	1954-2008	57	1966-2008	43
Воронеж	51°70' N; 39°20' E.	467	1954-2008	57	1966-2008	43
Калач-на-Дону	48°41'N; 43°32'E	1368	1960-2008	49	1966-2008	43
Цимлянск	47°44'N; 42°15'E	1547	1954-2008	57	1966-2008	43
Ростов	47°16'N; 39°49'E	1825	1954-2008	57	1966-2008	43

Таблица 2

Створы и притоки р. Дон

Характеристики створов р. Дон			Характеристики притоков		
Условное обозначение	Географическое расположение	Расстояние от истока р. Дон, км	Условное обозначение	Название	Расстояние от истока р. Дон, км
А	Входной створ участка «р. Дон, граница Тульской и Липецкой области – граница Липецкой и Воронежской области»	32	а	Красивая Меча	225
Б	Замыкающий створ участка «р. Дон, граница Тульской и Липецкой области – граница Липецкой и Воронежской области»	369	б	Сосна	262
В	Замыкающий створ участка «р. Дон, граница Липецкой и Воронежской области – г. Лиски»	588	в	Воронеж	467
Г	Замыкающий створ участка «р. Дон, г. Лиски – выше г. Богучар»	915	г	Битюг	673
Д	Замыкающий створ участка «р. Дон, выше г. Богучар – г. Калач-на-Дону»	1368	д	Хопер	947
			е	Медведица	1078
			ж	Иловля	1266
Е	Замыкающий створ участка «р. Дон, г. Калач-на-Дону – ЦВ, у плотины»	1547	з	Чир	
Ж	Замыкающий створ участка «р. Дон, ЦВ, у плотины – выше впадения р. Северский Донец»	1561	и	Северский Донец	1652
			к	Сал	1705
З	Замыкающий створ участка «р. Дон, выше впадения р. Северский Донец – ниже х. Колузаево»	1831	л	Маныч	1771

Таблица 3

Створы и притоки ЦВ

Характеристики створов ЦВ			Характеристики притоков ЦВ	
Условное обозначение	Географическое расположение	Расстояние от истока р. Дон, км	Условное обозначение	Название
D	р. Дон, г. Калач-на-Дону	1368	d	Донская Царица
F	ЦВ, х. Логовский	1440	f	Лиска
			g	Мышковка
			h	Чир
			i	Солоная
G	ЦВ, пгт. Нижний Чир	1425	j	Есауловский Аксай
Н	ЦВ, х. Красноярский	1470		
J	ЦВ, х. Кривской	1502	k	Курмоярский Аксай
К	ЦВ, ст. Жуковская	1520	m	Россошь
			n	Цимла
Е	р. Дон, нижний бьеф ЦВ	1561		

распределения статистических данных и объему выборки, оценивали взаимосвязи между одноименными характеристиками пространственно сопряженных (расположенных друг за другом при движении по водотоку) элементов бассейна р. Дон. В состав входили метеостанции, речные створы и устья боковых притоков. Полученные в результате анализа значения рангового коэффициента корреляции Спирмена K_S использовали в качестве одного из показателей степени изоморфизма. При значениях $K_S \leq 0,3$ эта степень оценивалась как незначительная, $0,3 < K_S \leq 0,7$ – умеренная, $0,7 < K_S \leq 0,9$ – высокая, $K_S \geq 0,9$ – очень высокая.

Второй и третий этапы исследования осуществляли только для временных рядов климатических характеристик, что объясняется недостаточностью объема используемой статистической гидрохимической информации. На втором этапе с помощью параметрической статистики проводили регрессионный анализ статистически значимых взаимосвязей. В соответствии с [7] определялись коэффициенты уравнений линейной регрессии, описывающие угол наклона линии тренда и соответствующие скорости изменения параметра, а также другие статистические характеристики (отношение величины коэффициента наклона к стандартной ошибке его определения (t-статистика); отношение среднего квадрата значений параметров к среднему квадрату остатков (критерий Фишера F); коэффициент детерминации R^2).

На третьем этапе анализа использовали фрактальный анализ, позволяющий сопоставить устойчивость изменений, характерных для сравниваемых временных рядов. Метод основан на зависимости нормированного размаха параметра от величины приращения времени [8, 9]. Значение нормированного размаха изменяет масштаб по мере увеличения приращения времени согласно значению степенной зависимости, которое обычно называют показателем Херста (**H**). Чем больше значение H, тем устойчивее наблюдаемая тенденция, тем более детерминированной она является. Ряды, для которых H равно 0,5, имеют независимое распределение данных, характеризуются нулевым средним и дисперсией, равной 1. Временные последовательности с $H > 0,5$ относятся к классу персистентных, сохраняющих эффект долговременной памяти. Случай $H < 0,5$ характеризуется антиперсистентностью. Антиперсистентная система проходит меньшее расстояние, чем случайная, т.е. она должна меняться чаще, чем вероятностный процесс [8]. В связи с требованиями к длине временного ряда, предъявляемыми в R/S анализе

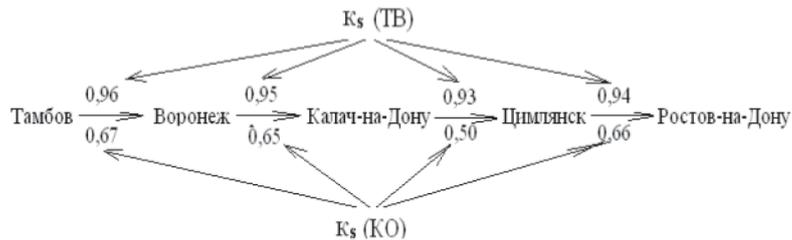


Рис. 1. Показатели изоморфизма климатических характеристик.

(он должен включать в себя не менее 500 значений), исследование устойчивости последующим сопоставлением показателей проведено только для рядов среднесуточных ТВ 3 метеостанций из 5, представленных в табл. 1 – для Воронежа, Цимлянска и Ростова-на-Дону. Для всех остальных рассматриваемых метеостанций в архивах Госфонда соответствующая информация отсутствует.

Результаты и их обсуждение

Изоморфизм климатических условий

Сходство временных рядов среднегодовых ТВ.

На рис. 1 показаны значения коэффициентов Спирмена для взаимосвязей между временными рядами среднегодовых значений ТВ (K_S , период 1954-2008 гг.) и среднегодовых значений суммарного КО (K_S , 1966-2008 гг.). Из приведенной информации можно сделать вывод, что степени изоморфизма режимов температуры воздуха и количества осадков для всех рассматриваемых станций существенно отличаются. В то время как сходство температурных режимов оценивается как очень высокое ($K_S = 0,93 - 0,96$), связи между количеством осадков являются статистически незначимыми ($p \geq 0,05$), умеренной силы.

Тем не менее, необходимо отметить уменьшение степени изоморфизма как для рядов ТВ, так и для рядов КО на участке Калач-на-Дону – Цимлянск. Это может быть обусловлено трансформированием гидрологического режима р. Дон на этом участке с речного на озерный.

Сезонные особенности. В ходе регрессионного анализа особенностей температурных изменений на территории водосборного бассейна р. Дон установлено, что в январе, марте и апреле периода 1954-2008 гг. на большинстве рассматриваемых метеостанций наблюдались статистически значимые межгодовые изменения ТВ. На рис. 2 приведены значения углов наклона трендов, соответствующие скоростям изменения ТВ ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) в эти месяцы. Как видно из рис. 2, в марте сходство временных рядов ТВ наблюдается на большей

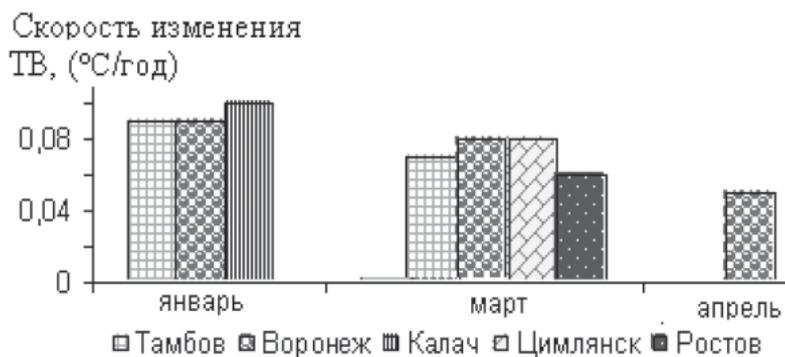


Рис. 2. Сезонный изоморфизм рядов ТВ.

части водосборного бассейна р. Дон (для 4 метеостанций из 5). В среднем межгодовой рост ТВ в этом месяце составлял в рассматриваемый период 0,07 °С/год. В меньшей степени тождественность сезонных климатических особенностей (для 3 станций из 5) выражена в январе. Средняя скорость роста ТВ на водосборе р. Дон в этом месяце равна 0,09 °С/год. Апрельское межгодовое потепление отмечается только на метеостанции Воронеж.

Необходимо отметить сходство сезонных климатических особенностей метеостанций Тамбова и Воронежа, выражающееся в однонаправленных температурных изменениях как в январе, так и в марте. К ожидаемым последствиям установленных трендов можно отнести повышение ТВ на территории водосбора в начале года при относительной стабильности летне-осенних температур.

Согласно современным научным представлениям сезонные особенности изменения ТВ во многом предопределяются единым механизмом формирования температурных полей в почве. Наблюдаемое на территории водосбора р. Дон потепление в холодный период характерно для территорий с высокой теплопроводностью почв [10].

Фрактальная устойчивость изоморфизма температурных режимов. В ходе фрактального анализа установлено, что среднегодовые значения показателя Н в 1954-2008 гг. составляли, соответственно, для рядов ТВ $0,63 \pm 0,01$, для рядов КО $0,56 \pm 0,02$. В связи с тем, что последовательности ТВ обладают большей фрактальностью, в работе приведены результаты только их анализа. Информация, представленная на рис. 3, свидетельствует о высокой степени изоморфизма фрактальных свойств климатических режимов, иными словами, степени их детерминированности. Величина K_S , характеризующая взаимосвязь между значениями показателя Н для метеостанций Воронежа и Цимлянска, равна 0,76, для Цимлянска и Ростова – 0,94. Необходимо отметить, что значимые поло-

жительные линейные тренды межгодовых изменений ТВ, отмечаемые в марте на большей части водосборного бассейна р. Дон (рис. 2), обладают высоким уровнем фрактальности. Значения показателя Н, характеризующие временные ряды ТВ в этом месяце, составляют 0,74-0,8, что свидетельствует о том, что идентифицированное на большей части водосбора реки межгодовое повышение ТВ в марте являлось в 1954-2008 гг. устойчивым процессом и с высокой долей вероятности может продолжаться в будущем.

Таким образом, в ходе проведенных исследований, установлен системный изоморфизм температурных климатических условий на различных участках водосбора р. Дон, заключающийся в тесной взаимосвязи временных рядов среднегодовых температур, межгодовом детерминированном росте ТВ в январе и марте, сходстве фрактальных свойств рядов ТВ, то есть тождественности обуславливающих их факторов.

Изоморфизм гидрохимических режимов

На рис. 4 представлены значения коэффициентов Спирмена K_S , характеризующих сходство гидрохимических режимов створов и притоков р. Дон. Их условные обозначения соответствуют таковым в табл. 2.

Как видно из рис. 4, степень гидрохимического сходства сопряженных створов р. Дон подвержена резким изменениям и колеблется от очень высокой в начале водотока (створы А и Б) до нулевой в его устьевой части (створы Ж и З). На протяжении от истока до устья р. Дон идентифицировано три участка, на которых отмечено проявляющееся через уменьшение показателя K_S нарушение преемственности гидрохимических режимов. Это участки между створами Б и В, Е и Ж, Ж и З.

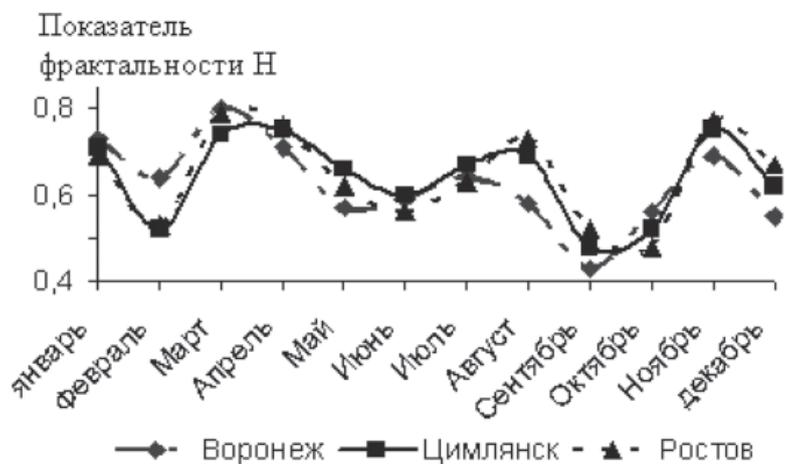


Рис. 3. Динамика показателя фрактальности Н для рядов ТВ.



Рис. 4. Характеристики взаимосвязей между гидрохимическими режимами сопряженных элементов системы р. Дон.

В ходе анализа их геоэкологических особенностей установлено, что по сравнению с остальными участками они испытывают более значительное техногенное воздействие. В границах этих водохозяйственных участков находятся крупные промышленные центры г. Воронеж (между створами Б и В) и г. Ростов-на-Дону (между створами Ж и З), а также г. Волгодонск и Ростовская атомная станция (между створами Д и Е). Указанные муниципальные образования входят в структуру водохозяйственного комплекса р. Дон, осуществляя при этом водоотведение в речную систему поверхностного и очищенного хозяйственного стока. Сброс загрязненных сточных вод с территории г. Воронеж составил в 2007 г. 150,6 млн. м³ [11], с территории г. Ростов-на-Дону – 119,31 млн. м³, с территории г. Волгодонск – 15,8 млн. м³ (данные 2009 г.) [12]. Помимо этого, на участке р. Дон между створами Ж и З ее воды смешиваются с водой рек Северский Донец, Сал, Маныч. Вследствие особенностей территории водосбора этих рек их гидрохимический состав имеет ряд существенных отличий по сравнению с р. Дон, в частности, повышенную минерализацию.

Уменьшение степени изоморфизма свидетельствует о том, что мощность внутрисистемных экологических связей меньше силы воздействующих факторов внешнего, прежде всего, техногенного происхождения. Вследствие этого наблюдается процесс внутренней перестройки гидрохимического режима. При этом если величина внешней нагрузки находится в пределах допустимого эволюционно сформированного порога развития речной системы, то возникает адаптация системы с частичным восстановлением изоморфизма ее элементов. Как видно из рис. 4, это направление реализуется на Верхнем Дону (створы В-Е).

В том случае, если нагрузка превышает допустимый порог, реализуется бифуркационный механизм. Структурные элементы теряют устойчивость, степень изоморфизма уменьшается до минимума. В данном направлении происходят системные изменения гидрохимического режима на участке Нижнего Дона между створами Ж и З.

К наиболее значительным их последствиям следует отнести резкое (почти в 2 раза) увеличение содержания в донской воде сульфатов, меди, нефтепродуктов [5].

Анализ показателей изоморфизма притоков р. Дон свидетельствует о значимом сходстве только гидрохимических режимов водотоков, формирующих состав р. Дон в верховьях и устьевой части. Необходимо отметить р. Воронеж (приток «в» на рис. 4), системный изоморфизм которой по отношению к расположенным выше притокам выражен в минимальной степени. На наш взгляд, наряду с комплексом причин природного происхождения этот факт может быть объяснен значительностью техногенного воздействия на р. Воронеж на ее водосборе [13].

В бассейне р. Дон находится 27 водохранилищ с объемом свыше 10 млн. м³ [5]. Наиболее крупным из них является ЦВ, образованное в долине р. Дон в 1952 г. Его водохозяйственный комплекс включает в себя водный транспорт, объекты промышленного и хозяйственно-питьевого водоснабжения, атомной и гидроэнергетики, сельского хозяйства, рекреационной сферы.

В приплотинной части ЦВ сконцентрирована основная часть этого комплекса, представленная городами Волгодонск и Цимлянск с населением более 200 тыс. человек, Ростовской атомной станцией, Цимлянской ГЭС и др. Большинство объектов расположено на участке между створами К и Е. На рис. 5 представлены показатели сходства гидрохимических режимов сопряженных участков ЦВ и притоков (условные обозначения приведены в табл. 3).

Степень системного изоморфизма для ЦВ в основном может быть оценена как очень высокая. Исключение составляет участок приплотинного плеса, расположенный между створами К и Е. На нем происходит снижение показателя K_S почти на 10 % по сравнению с предыдущим участком. Поскольку крупных боковых притоков на этом участке нет, наиболее вероятной причиной такого уменьшения внутрисистемной сбалансированности является влияние техногенных факторов. Анализ вклада в загряз-

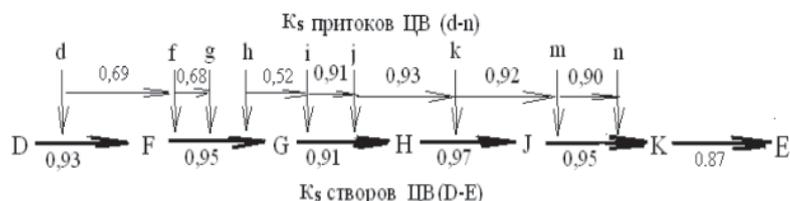


Рис. 5. Характеристики взаимосвязей между гидрохимическими режимами сопряженных элементов ЦВ.

нение приплотинного плеса ЦВ различных источников, проведенный нами ранее [14], позволяет сделать вывод, что наиболее значительное воздействие оказывают высокозагрязненные ливневые стоки с территории г. Волгодонск. В среднем их объем составляет 6-7 млн. м³/год.

Гидрохимические режимы притоков ЦВ (d-i) характеризуются степенью сходства от умеренной до очень высокой. При этом системный изоморфизм приточности в центральной и приплотинной частях ЦВ (водотоки i-n) выражен в большей степени, чем в верхней (водотоки d-h). Поскольку формирование внутрисистемных взаимосвязей происходит под действием окружающей среды, можно предположить, что указанная особенность обусловлена сходством системформирующих факторов.

Заключение

Степень и пространственная стабильность системного сходства характеристик р. Дон зависят от масштаба и природы формирующих их факторов. Изоморфизм метеопараметров, обусловленный, преимущественно, факторами внеземного и глобального происхождения, выражается в большей степени, чем сходство гидрохимических режимов, формирующихся под действием факторов локального и регионального происхождения.

Изоморфизм ТВ проявляется в тесной взаимосвязи среднегодовых ТВ, сходимостью сезонных трендов среднемесячных ТВ и тождественностью фрактальных свойств среднесуточных ТВ. Для временных рядов КО отмечено умеренное сходство.

Степень гидрохимического изоморфизма р. Дон варьирует от очень высокой в начале

водотока до нулевой в его устьевой части. Уменьшение сходства наблюдается на участках с наиболее значительным техногенным воздействием (месторасположения городов Воронеж, Ростов-на-Дону, Волгодонск). Сопутствующая этому перестройка гидрохимических режимов происходит по двум механизмам – адаптационному и бифуркационному. Первый, приводящий к частичному восстановлению изоморфизма, реализуется ниже г. Воронеж. Второй развивается в устьевой части р. Дон и способствует резкому уменьшению сходства состава донской воды по сравнению с вышерасположенным створом.

Гидрохимическое сходство сопряженных створов ЦВ оценивается как очень высокое, за исключением приплотинного участка. Здесь происходит снижение степени изоморфизма почти на 10 % по сравнению с предыдущим створом. Наиболее вероятной причиной этого является загрязнение воды поверхностными стоками г. Волгодонск.

Установлены значительные различия гидрохимического сходства боковой приточности р. Дон. Степень изоморфизма р. Воронеж минимальна. На наш взгляд, наряду с комплексом причин природного происхождения этот факт может быть объяснен значимостью техногенного воздействия на р. Воронеж. Высокая степень сходства отмечается для водотоков, формирующих состав р. Дон в верховьях и устьевой части, а также в центральной и приплотинной частях ЦВ.

Таким образом, показана возможность использования показателей изоморфизма для индикации уровня внутрисистемной организованности речной системы, установления ее участков, не справляющихся с внешней нагрузкой, определения механизмов дальнейшего эволюционирования системы.



Литература

1. Блауберг И.В. Системный подход как современное общенаучное направление / И.В. Блауберг, Б.Г. Юдин. М.: Наука, 1986. 300 с.
2. Урманцев Ю.А. Поли- и изоморфизм в живой и неживой природе // Вопросы философии. 1968. № 12. С. 77–88.
3. Федоров М.М. Проблемные исследования в системе природопользования. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. 304 с.
4. Специализированные массивы данных для климатических исследований <http://www.meteo.ru/tech/aisori> (дата обращения 10.12.2011).
5. Проект Схемы комплексного использования и охраны водных объектов бассейна р. Дон. http://www.donbv.ru/picturesto_4704263skiovo (дата обращения 18.10.2011).
6. Шаврак Е.И. Малые реки как источник загрязнения воды в Цимлянском водохранилище // Вода: химия и экология. 2011. № 3. С. 9-13.
7. Бриллинджер Д. Временные ряды. Обработка данных и теория. М.: Мир, 1980. 536 с.
8. Петерс Э.Э. Фрактальный анализ финансовых рынков. М.: Изд-во «Интернет-трейдинг», 2004. 285 с.
9. Шаврак Е.И. Фрактальный анализ временных рядов средней температуры воздуха в Ростовской области // Материалы IV Международ. науч.-практ. конф. Наука в современном мире. М.: Изд-во «Спутник+», 2011. С. 191-194.
10. Холоден Е.Э. Роль теплопроводности почвы в формировании разнонаправленности тенденций изменения температуры воздуха / Е.Э. Холоден, О.М. Морина, С.А. Лобанов, В.Т. Старожилов // Экологические системы и приборы. 2011. № 9. С.37-42.
11. Куролап С.А. Медико-экологический атлас Воронежской области / С.А. Куролап, Н.П. Мамчик, О.В. Клепиков и др. Воронеж: изд-во «Истоки», 2010. 167 с.
12. Экологический вестник Дона. «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2009 году» // Ростов-на-Дону: изд-во «Альгаир», 2010. 370 с.
13. Корчагина В.А. Геоэкологическая экспресс-оценка качества поверхностных водных ресурсов Ближнего Подворонезья / В.А. Корчагина, Т.И. Прожорина, С.А. Куролап // Вестник ВГУ, Серия География, геоэкология. 2008. № 2. С. 64-70.
14. Шаврак Е.И. Исследование влияния Волгодонской АЭС на экологическое состояние Приплотинного плеса Цимлянского водохранилища / Е.И. Шаврак, В.М. Сапельников, И.А. Генераленко // Изв. ВУЗов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2010. Спец. вып. С. 160-167.

E. I. Shavrak

ISOMORPHISM OF SYSTEM-FORMING FEATURES OF THE RIVER DON

Complex of system-forming features of the river Don including meteorological and hydrochemical characteristics was viewed. Their isomorphism appearing as time series similarity and correlation of hydrochemical modes of associated water-resource regions was quantitatively described. Possibility of applying isomorphism parameters to detection of endogenous equilibrium level for river system was shown.

Key words: isomorphism, Don, atmospheric temperature, hydrochemical mode, endogenous equilibrium.