

УДК 502.1

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ДИНАМИКА СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГИОНОВ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ

© 2016 Н.И. Зазнобина, Е.Д. Молькова, В.Н. Якимов, Д.Б. Гелашвили

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Статья поступила в редакцию 27.11.2016

Рассмотрены взаимосвязи и вклад экологических, социальных и экономических показателей в состояние социо-эколого-экономических систем (СЭЭС) на примере регионов Приволжского Федерального округа. На основе системы показателей, предложенных Федеральной службой государственной статистики, была сформирована база данных для СЭЭС Приволжского федерального округа за период 2011–2015 гг. Для сравнения подсистем регионов, характеризующихся разноразмерными показателями, использовалась методика расчета обобщенной функции желательности. Проанализирована временная и пространственная динамика распределения значений обобщенной функции желательности по экологическим, социальным, экономическим показателям для выбранных регионов за исследуемый период. Методом главных компонент были выделены показатели, наиболее информативно отражающие состояние СЭЭС. Корреляционный анализ позволил выявить связи между экологической, социальной и экономической подсистемами изучаемых регионов.

Ключевые слова: *социо-эколого-экономические системы, временная и пространственная динамика, функция желательности, метод главных компонент*

Глобальное развитие урбанизации, нарастание экологических проблем, возникновение локальных кризисов и катастроф антропогенного происхождения привели к необходимости пересмотра взаимосвязей системы «природа – человек», поиску путей их гармонизации [1]. Противоречия во взаимодействии человека и природной среды, которые проявляются в усилении экономического давления, в нерациональной по своему характеру практике использования природных ресурсов, обусловили замещение природных экосистем социо-эколого-экономическими системами. Под термином «социо-эколого-экономическая система» (СЭЭС) подразумевается совокупность образований биологической, географической, экономической, демографической и социальной природы, в основу которой положен принцип сбалансированности, обуславливающий рассмотрение СЭЭС как единого целого [1]. Современная экономика РФ с одной стороны, располагает значительными природными, трудовыми ресурсами, крупным производственным потенциалом, занимает ведущие позиции в

производстве и экспорте многих важных товаров (правда, в основном топливно-сырьевой группы), обладает мощным научно-техническим потенциалом, высоким образовательным уровнем населения. С другой стороны – характеризуется большими ресурсопоглощающими производствами и экстенсивным типом роста. Все это приводит к экономическому развитию территорий, но влечет за собой серьезные негативные экологические и социальные последствия, которые проявляются, прежде всего, в нарушении экологических систем вследствие техногенного и антропогенного воздействия на окружающую среду, а также ухудшения здоровья населения.

При анализе СЭЭС все три компонента должны рассматриваться во взаимосвязи и взаимозависимости. Причем, развитие каждого отдельного элемента становится импульсом для развития двух других элементов и всей системы в целом. По мнению ряда исследователей [1, 2], устойчивость СЭЭС определяется устойчивостью ее экологической подсистемы, которая является основополагающей по отношению к социальной и экономической подсистемам.

**Цель работы:** анализ временной и пространственной динамики СЭЭС на уровне Приволжского федерального округа (ПФО).

Для проведения настоящего исследования использовались официальные статистические данные по экологическим, экономическим и социальным показателям, которые имеют разную размерность и бывают трудно сопоставимы между

*Зазнобина Наталья Ивановна, кандидат биологических наук, ассистент кафедры экологии. E-mail: nzaznobina@mail.ru*

*Молькова Екатерина Дмитриевна, студентка*

*Якимов Василий Николаевич, доктор биологических наук, старший преподаватель кафедры экологии. E-mail: damsselfly@yandex.ru*

*Гелашвили Давид Бежанович, доктор биологических наук, профессор кафедры экологии. E-mail: ecoloby@bio.unn.ru*

собой. Поэтому для объективного сравнения исследуемых СЭЭС была использована процедура свертывания информации, предусматривающая применение функции желательности, которая уже показала свою эффективность при сравнении объектов разного масштаба (на уровне предприятия, города, региона, страны) [3–6]. Частная функция желательности ( $d \in [0,1]$ ) обычно обозначается буквой  $d$  (от французского *desirable* – желательный), представляет собой способ перевода натуральных значений в единую безразмерную числовую шкалу с фиксированными границами. Перевод в единую для всех показателей числовую шкалу снимает затруднение, связанное с разной размерностью и дает возможность объединять в единый показатель самые разные параметры. Конкретные способы реализации функции желательности могут быть весьма разнообразны (экспертные функции желательности, простые аналитические функции желательности, функция желательности Харрингтона и др.). После того, как выбрана шкала желательности, и частные отклики преобразованы в частные функции желательности, можно построить обобщенный показатель  $D$ , названный Харрингтоном обобщенной функцией желательности (ОФЖ). В общем виде ОФЖ рассчитывается по формуле среднего геометрического взвешенного набора вещественных чисел с вещественными весами. Величина этой обобщенной желательности может служить некоторой интегральной мерой отклонения состояния системы от нормы. Для идеально функционирующей системы «желательная» величина  $D$  должна быть равна 1, однако, если хотя бы одна из величин  $d_i$  окажется равной 0 (т.е. «нежелательной»), очевидно, что и  $D = 0$ . Математическая сторона расчета частных и обобщенной функций желательности подробно описаны в наших предыдущих работах [5, 6].

**Объектами исследований** послужили субъекты РФ, входящие в ПФО. В работе использовались показатели за период 2011–2015 гг., имеющиеся в базе Федеральной службы государственной статистики [7]. Эти показатели были условно отнесены к трем группам: экологические, социальные и экономические, которые в свою очередь разделены на «желательные» и «нежелательные». Для оценки состояния экологической подсистемы в качестве «желательного» показателя использовалась площадь лесов (тыс. га), а в качестве «нежелательных» – общий объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (тыс. т), объем выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников в атмосферный воздух (тыс. т), пробы питьевой воды в распределительных сетях, не соответствующие нормативам по санитарно-химическим показателям (%), образование отходов (млн. т).

Для оценки состояния социальной подсистемы в качестве «желательных» показателей использовались – рождаемость (чел.), ожидаемая продолжительность жизни при рождении (год), в качестве «нежелательных» – смертность (чел.), преступления (ед.), количество людей пенсионного возраста (тыс. чел.). Для оценки состояния экономической подсистемы в качестве «желательных» показателей использовались – доходы консолидированного бюджета субъекта (млн. руб.), денежные доходы на душу населения (среднее значение за месяц, руб.), потребление электроэнергии (млн кВт\*ч), индекс промышленного производства, в качестве «нежелательного» показателя – число безработных (тыс. чел.).

Для корректного сопоставления фактических значений показателей применяли функцию желательности со стандартной ошибкой [5]. Для обоснования значений обобщенной функции желательности принимали границы градаций функции желательности Харрингтона [5], которые позволили дать приемлемую характеристику социо-эколого-экономическим ситуациям (табл. 1).

**Таблица 1.** Градации экологической ситуации по значению функции желательности

Значения функции желательности	Характеристика социо-эколого-экономической ситуации
1,00–0,81	очень хорошая
0,80–0,64	хорошая
0,63–0,38	удовлетворительная
0,37–0,21	плохая
0,20–0,00	очень плохая

В ходе исследования был проведен анализ временной и пространственной динамики как подсистем, так и СЭЭС исследуемых субъектов. На предварительном этапе не были выявлены статистически значимые межгодовые различия ОФЖ, что позволило применить для интегральной характеристики усредненное значение ОФЖ ( $\bar{D} \pm m$ ) и на ее основе ранжировать СЭЭС регионов ПФО (табл. 2).

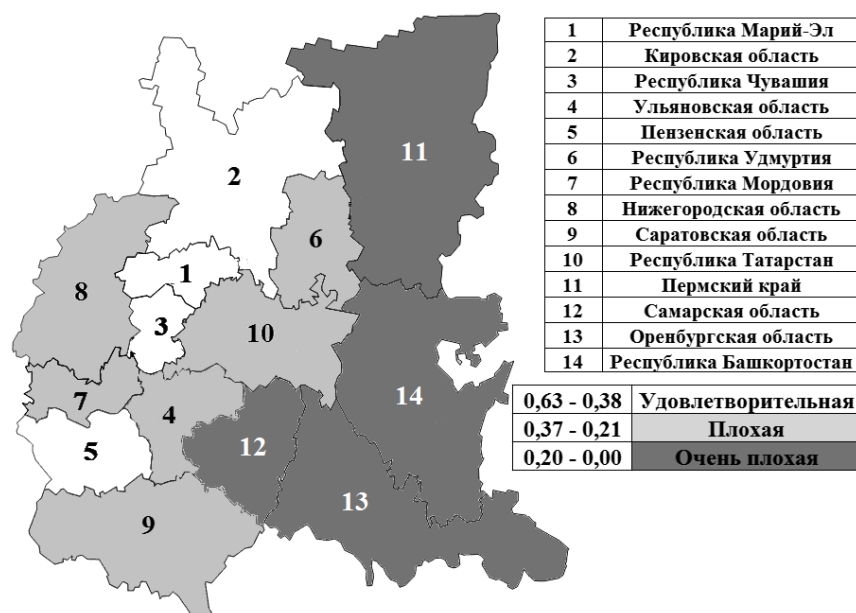
Наибольшие значения ОФЖ по совокупности социо-эколого-экономических показателей были получены для республик Марий-Эл, Чувашия, Удмуртия, а также Кировской, Пензенской и Ульяновской областей, наименьшие – для республики Башкортостан. Для исследования временной и пространственной динамики каждой из подсистем по отдельности был проведен расчет ОФЖ по соответствующему подмножеству показателей.

**Таблица 2.** СЭЭС регионов ПФО, ранжированные по убыванию среднего значения ОФЖ за период 2011–2015 гг.

№ п/п	Субъект Российской Федерации (СЭЭС)	Годы					Среднее значение ОФЖ ( $\bar{D} \pm m$ )
		2011	2012	2013	2014	2015	
1	Республика Марий-Эл	0,61±0,06	0,61±0,06	0,63±0,06	0,62±0,06	0,62±0,06	0,61±0,06
2	Кировская область	0,62±0,05	0,58±0,05	0,59±0,08	0,59±0,05	0,59±0,04	0,59±0,05
3	Республика Чувашия	0,61±0,06	0,57±0,06	0,58±0,06	0,58±0,06	0,58±0,05	0,58±0,05
4	Ульяновская область	0,57±0,05	0,60±0,06	0,57±0,06	0,59±0,06	0,60±0,04	0,58±0,05
5	Пензенская область	0,58±0,05	0,58±0,06	0,57±0,06	0,56±0,06	0,56±0,05	0,57±0,05
6	Республика Удмуртия	0,59±0,04	0,55±0,05	0,53±0,05	0,53±0,05	0,54±0,04	0,54±0,04
7	Республика Мордовия	0,50±0,07	0,49±0,07	0,49±0,08	0,49±0,08	0,49±0,08	0,49±0,07
8	Нижегородская область	0,47±0,06	0,47±0,06	0,49±0,06	0,51±0,06	0,51±0,05	0,49±0,05
9	Саратовская область	0,45±0,06	0,44±0,06	0,45±0,06	0,43±0,06	0,44±0,05	0,44±0,05
10	Республика Татарстан	0,42±0,07	0,44±0,07	0,44±0,07	0,44±0,07	0,44±0,06	0,43±0,06
11	Пермский край	0,41±0,08	0,42±0,07	0,42±0,08	0,42±0,07	0,42±0,07	0,41±0,07
12	Самарская область	0,39±0,07	0,39±0,07	0,40±0,07	0,40±0,07	0,40±0,05	0,39±0,06
13	Оренбургская область	0,37±0,07	0,37±0,08	0,38±0,07	0,41±0,07	0,40±0,07	0,38±0,07
14	Республика Башкортостан	0,34±0,08	0,33±0,08	0,27±0,08	0,38±0,08	0,37±0,08	0,33±0,08

За весь период исследования экологическая обстановка в Пензенской области характеризуется как «удовлетворительная», в Нижегородской, Саратовской областях, республиках Татарстан и Мордовия – как «плохая». В Самарской и Оренбургской областях, Пермском крае и республике Башкортостан «очень плохая» экологическая ситуация объясняется тем, что эти регионы являются лидерами по выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух, в том числе от стационарных источников. Основные источники загрязнения представлены в этих субъектах крупными газо- и нефтеперерабатывающими, химическими, металлургическими предприятиями, а также предприятиями автомобилестроения. Кроме того, в республике Башкортостан отмечается максимальное образование отходов.

Для остальных регионов ПФО прослеживается тенденция к ухудшению экологической обстановки за исследуемый период. Например, в связи со значительным ухудшением качества питьевой воды по санитарно-химическим показателям, что связано с неудовлетворительной работой очистных сооружений предприятий в республиках Марий-Эл, Чувашия, Кировской области «хорошая» экологическая ситуация меняется на «удовлетворительную». В республике Удмуртия и Ульяновской области «удовлетворительная» экологическая обстановка в 2011–2012 гг. сменяется «плохой» в 2013–2015 гг. в связи с увеличением объемов выбросов поллютантов, образующихся отходов и ухудшением качества воды (рис. 1).



**Рис. 1.** Экологическая обстановка в регионах ПФО за 2015 г.

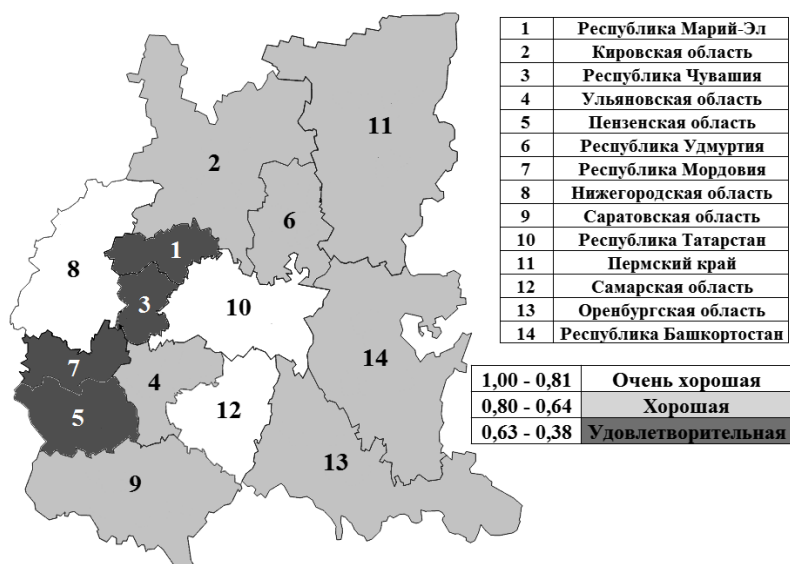


Рис. 2. Экономическая обстановка в регионах ПФО за 2015 г.

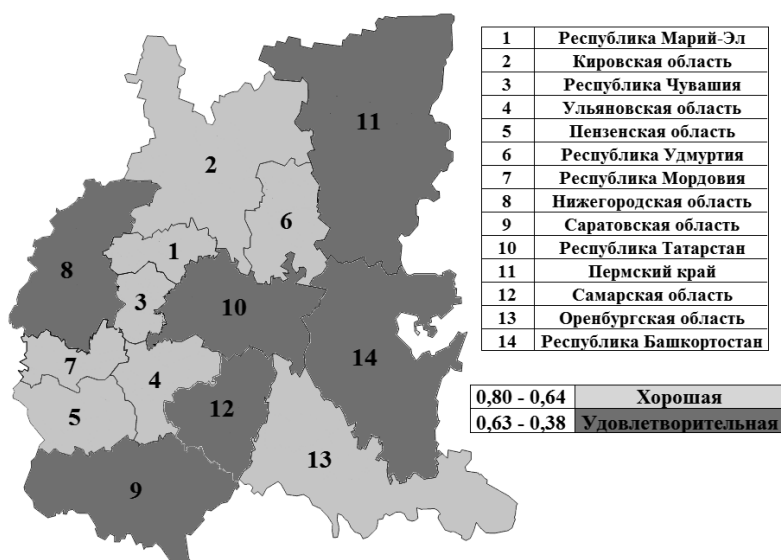


Рис. 3. Социо-демографическая обстановка в регионах ПФО за 2015 г.

Экономическая ситуация в Пермском крае, Саратовской, Оренбургской областях, республике Башкортостан за весь период исследования оценивается как «хорошая». Этому способствуют низкий уровень безработицы и высокие значения индекса промышленного производства. Тенденции улучшения экономической ситуации за исследуемый период отмечаются для Нижегородской, Самарской областей, республики Татарстан с «хорошей» до «очень хорошей», а также для Кировской области с «удовлетворительной» в 2011 г. до «хорошей» в последующие годы исследования (рис. 2). Этот факт можно объяснить ростом, как доходов консолидированного бюджета, так и доходов населения, а также увеличением индекса промышленного производства. Улучшение экономической ситуации во многих исследуемых регионах, приводит к ухудшению в них экологической обстановки, что можно видеть

при сравнении рис. 2 и 1. Вероятно, что развитие индустриальных отраслей, увеличение мощностей перерабатывающей промышленности не всегда сопровождается установлением на предприятиях высокоэффективных очистных сооружений.

Для республик Марий-Эл, Мордовия, Чувашия, Удмуртия, а также Оренбургской, Ульяновской, Пензенской, Кировской областей социально-демографическая обстановка характеризуется как «хорошая» за весь период исследования. «Удовлетворительная» социально-демографическая обстановка характерна для Саратовской, Самарской, Нижегородской областей, Пермского края и республик Татарстан и Башкортостан (рис. 3). Для этих субъектов отмечаются высокие показатели смертности, преступности, а также большой процент населения пенсионного возраста.

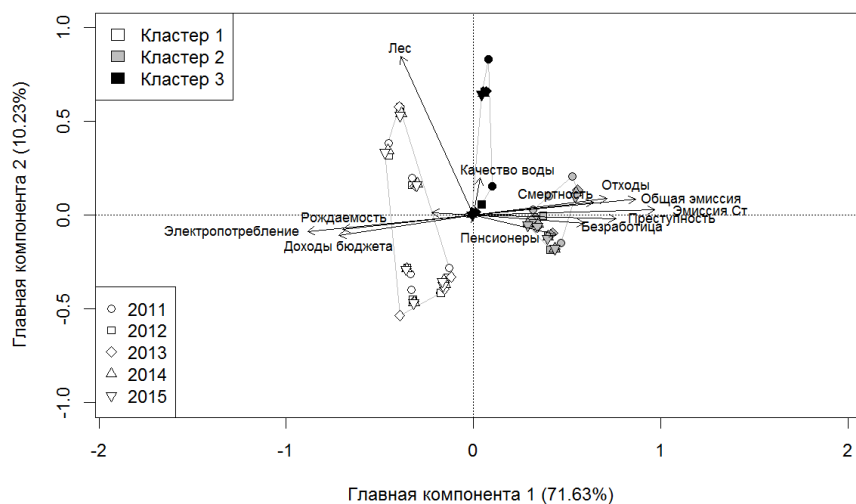
С помощью кластерного анализа, выполненного на основе значений частных функций желательности, все анализируемые регионы были разделены на три кластера. В первый кластер были выделены республики Мордовия, Марий-Эл, Чувашия, а также Ульяновская и Пензенская области; во второй кластер – Оренбургская, Саратовская, Самарская, Нижегородская области, республики Татарстан, Башкортостан и Пермский край; в третий кластер – Кировская область и республика Удмуртия.

На следующем этапе работы методом главных компонент был проведен анализ состояния СЭЭС на основе частных функций желательности, рассчитанных по экологическим, социальным и экономическим индикаторам. На графике ординационной диаграммы (рис. 4) видно, что в первую главную компоненту (объясняет 71,63% изменчивости) наибольший вклад вносят экономические показатели «потребление электроэнергии», «доходы консолидированного бюджета», «число безработных», социально-демографические показатели «рождаемость», «смертность», «преступления», а также экологические показатели «объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух», «объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников», «образование отходов». При этом «рождаемость» закономерно прямо коррелирует с потреблением электроэнергии и консолидированными доходами в бюджет, и обратно коррелирует со «смертностью», «преступлениями», а также «образованием отходов» и объемом выбросов (рис. 4). Во вторую главную

компоненту (объясняет 10,23% изменчивости) наибольший вклад вносят экологические индикаторы «площадь лесов» и качество питьевой воды (рис. 4).

Первая главная компонента определяет дифференциацию регионов на три выделенных кластера. При этом для регионов первого кластера (располагается в левой части ординационной диаграммы) характерны высокие значения ФЖ по рождаемости, потреблению электроэнергии и доходом бюджета и относительно низкие – по выбросам в атмосферу, образованию отходов, преступности и смертности. Для регионов второго кластера (занимает правую часть ординационной диаграммы) ситуация противоположная. Третий кластер занимает промежуточное положение как на диаграмме, так и по обсуждаемым показателям.

Статистический анализ связи между частными функциями желательности проведен с помощью непараметрического коэффициента ранговой корреляции Спирмена R с поправкой Бонферрони. В результате анализа была выявлена обратная корреляционная связь между экологическими и экономическими показателями ( $R=-0,75$ ). Это можно объяснить тем, что рост инвестиций, направленных на наращивание промышленного потенциала, не сопровождается пропорциональными вложениями в природоохранные мероприятия, что ведет к ухудшению экологической ситуации в регионах. Обратная корреляционная связь выявлена между социально-демографическими и экономическими показателями ( $R=-0,68$ ).



**Рис. 4.** Ординационная диаграмма в пространстве двух первых главных компонент, построенных на основе частных функций желательности

Символами на диаграмме отображены регионы, цвет символа отражает принадлежность к выделенным кластерам, тип символа отражает временной период. Векторами отображено положение социо-эколого-экономических показате-

телей. Эмиссия – общий объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух; Эмиссия Ст – выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников; Электропотребление – потребление электроэнергии; Доходы бюджета –

доходы консолидированного бюджета субъекта; Качество воды - пробы питьевой воды в распределительных сетях, не соответствующие нормативам по санитарно-химическим показателям; Лес – площадь лесов; Отходы – образование отходов; Пенсионеры - количество людей пенсионного возраста; Преступность – преступления; Безработица – число безработных. Это говорит о том, что демографическая ситуация не всегда напрямую зависит от степени развития экономики региона, а может быть обусловлена законами, традициями населения, эколого-географическими условиями расселения. Кроме того, при несбалансированном вкладывании основных капиталов в развитие экономики, уменьшается финансирование социальной сферы, что ведет к снижению рождаемости, росту преступности, уменьшению ожидаемой продолжительности жизни. Прямая корреляционная связь выявлена между социально-демографическими и экологическими показателями ( $R=0,44$ ). Вероятно, что распространение эколого-зависимых заболеваний и продолжительность жизни населения связаны с качеством окружающей среды.

**Выводы:** полученные результаты исследования свидетельствуют о том, что предложенный подход к анализу СЭЭС, основанный на применении ОФЖ и подкрепленный адекватными статистическими методами, может служить эффективным инструментом изучения разномасштабных и разнокачественных промышленных, социальных и природных объектов, давать возможность понимать причины изменения состояния их СЭЭС и на базе ретроспективного анализа делать экспертные прогнозы развития различных

регионов, в том числе и в рамках парадигмы устойчивого развития.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Розенберг, Г.С. Мифы и реальность «устойчивого развития» / Г.С. Розенберг, С.А. Черникова, Г.П. Краснощеков и др. // Проблемы прогнозирования. 2000. №2. С. 130-154.
2. Розенберг, Г.С. Формирование экологической ситуации и пути достижения устойчивого развития Волжского бассейна / Г.С. Розенберг, Д.Б. Гелашвили, А.Г. Зибарев и др. // Региональная экология. 2016. №1 (43). С. 15-27.
3. Гелашвили, Д.Б. Применение обобщенной функции желательности для оценки экологической обстановки на объектах разного масштаба: город, регион / Д.Б. Гелашвили, А.В. Лисовенко, Н.И. Зазнобина, А.А. Королев // Проблемы региональной экологии. 2009. №2. С. 83-88.
4. Гелашвили, Д.Б. Экологическая характеристика Приволжского федерального округа на основе обобщенной функции желательности / Д.Б. Гелашвили, М.С. Снегирева, Л.А. Солнцев, Н.И. Зазнобина // Поволжский экологический журнал. 2014. №1. С. 130-138.
5. Гелашвили Д.Б., Зазнобина Н.И., Лисовенко А.В. Количественные методы оценки состояния урбоэкосистем // Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга. Ч. VII. – Н. Новгород: ННГУ, 2011. С. 80-110.
6. Гелашвили, Д.Б. Применение интегральных показателей на основе функции желательности для комплексной оценки качества сточных вод / Д.Б. Гелашвили, А.В. Лисовенко, М.Е. Безруков // Поволжский экологический журнал. 2010. №4. С. 343-351.
7. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики: <http://www.gks.ru/>.

#### THE COMPARATIVE DYNAMICS OF SOCIAL-ECOLOGICAL-ECONOMIC SYSTEMS OF PRIVOLZHSKIY FEDERAL DISTRICT REGIONS ON THE BASIS DESIRABILITY GENERALIZED FUNCTION

© 2016 N.I. Zaznobina, E.D. Molkova, V.N. Yakimov, D.B. Gelashvili

National Research Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevskiy

Interrelations and contribution of ecological, social and economic indicators to a condition of social-ecologic-economic systems (SEES) on the example of Privolzhskiy Federal District regions are considered. On the basis of system indicators offered by Federal State Statistics Service, the database for SEES Privolzhskiy Federal District for the period of 2011-2015 was created. For comparison of subsystems of the regions which are characterized by different-size indicators the method of calculation of desirability generalized function (DGF) was used. Temporary and spatial dynamics of distribution the values of DGF on ecological, social, economic indicators for the chosen regions for the researched period is analyzed. By the method of main component it were allocated the indicators which are most informatively reflecting SEES condition. The correlation analysis allowed to reveal relations between ecological, social and economic subsystems of the studied regions.

Key words: *social-ecological-economic systems, temporary and spatial dynamics, desirability function, main component method*

Natalia Zaznobina, Candidate of Biology, Assistant at the Ecology Department. E-mail: [nzaznobina@mail.ru](mailto:nzaznobina@mail.ru); Ekaterina Molkova, Student; Vasiliy Yakimov, Doctor of Biology, Senior Lecturer at the Ecology Department. E-mail: [damsel-fly@yandex.ru](mailto:damsel-fly@yandex.ru); David Gelashvili, Doctor of Biology, Professor at the Ecology Department. E-mail: [ecology@bio.unn.ru](mailto:ecology@bio.unn.ru)