

## НЕЙРОСЕТЕВОЙ АНАЛИЗ ТРАНСФОРМАЦИИ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЛАНДШАФТНЫХ РАЙОНОВ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

В.П. Петрищев<sup>1,2</sup>, Р.В. Ряхов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт степи УрО РАН, Россия, Оренбург

<sup>2</sup>Оренбургский государственный университет, Россия, Оренбург

e-mail: remus.rv@gmail.com

Целью данной статьи является определение качественной трансформации структуры природных комплексов путем сопоставления показателей по ландшафтным районам Оренбургской области. В качестве основы выбрана наиболее современная версия ландшафтного районирования по А.А. Чибилеву. При этом в основе геоинформационного анализа выступают космические снимки Landsat 5 (1989 г.) и Landsat 8 (2018 г.). Для выявления качественной трансформации использовался метод искусственных нейронных сетей в отображении Сэммона. Для Оренбургской области определено, что появились и продолжают расширяться преимущественно по периферии региона территории с резким снижением сельскохозяйственного производства и антропогенной трансформации территории. Ландшафтных районов, которые в настоящее время испытывают рост антропогенного воздействия, относительно немного, что, преимущественно связано с активизацией недропользования.

*Ключевые слова:* морфологическая структура, ландшафтные районы Оренбургской области, нейросетевой анализ, минимальное остовое дерево.

### Введение

Ландшафтная структура Оренбургской области [1] подвержена все большей интенсификации процессов антропогенного воздействия, в связи с чем актуализируются вопросы своевременного изучения трансформационных процессов. Эффективным инструментом для оценки структуры и динамики землепользования в пределах лесных и лесостепных геосистем региона являются спутниковые данные, дешифрованные с применением геоинформационных систем.

Среди различных методов математического анализа структуры и динамики геосистем различных уровней все большей популярностью начинают пользоваться методы автоматизированной классификации, в т.ч. основанные на нейросетевых технологиях. Применение нейросетевых технологий позволяет обойти требования о необходимости понимания структуры статистического распределения данных, повышает устойчивость к ошибкам при обработке фрагментированных данных, дает широкие возможности для генерализации и синтеза входных данных. Перед проведением нейросетевой классификации рекомендуется, как правило, разбиение информации, полученной дистанционными методами, на гомогенные области посредством автоматизированной сегментации. В основе формирования сегментов лежит принцип локальной однородности: спектральные признаки, текстурные характеристики (гладкость, компактность и т.д.) [2].

Наиболее важным фактором классификации территории при помощи нейронных сетей является правильный выбор входных нейронов (комбинации каналов данных дистанционного зондирования (ДДЗ)). Включение в синтезированные растровые данные инфракрасных каналов существенно повышает качество классификации и снижает погрешности, вызванные недообучением искусственных нейронных сетей (ИНС). Увеличение количества скрытых нейронов ведет к повышению качества выделения континуальных объектов (реки, дороги и т.д.), но ухудшает качество выделения иных

компонентов ландшафтно-экологических систем. Нейронные сети позволяют детектировать сложные границы урочищ, морфологическую структуру, границы растительных формаций и градиенты увлажненности геосистем [3].

Использование самоорганизующихся карт Кохонена (Self-Organizing maps) для изучения ландшафтной структуры по ДДЗ является прямым развитием технологий автоматизированной классификации изображений (в том числе и метода К-средних) [4]. Самоорганизующиеся карты Кохонена через однослойную нейронную сеть позволяют понизить размерность многомерных пространств мульти- и гиперспектральных изображений до двумерного, как наиболее оптимального для географического анализа. Преимуществами методики являются: низкое влияние зашумленности пространственных данных на результаты классификации, низкая ресурсоемкость при достаточно высокой скорости самообучения, упрощение визуализации многомерных данных. Итогом классификации является RGB-модель пространственных данных с присвоенными значениями классов на основе откорректированных во время самообучения весовых векторов по близости пространственно-спектральных характеристик. В сравнении с общепринятыми алгоритмами автоматизированной классификации нейронные сети менее подвержены ошибкам обнаружения пространственных объектов [5].

Применение ДДЗ и геоинформационных технологий позволяет разрабатывать высокоинформативные электронные базы пространственных данных с увеличенной селективностью, эффективностью и оперативностью обработки информации для проведения геоэкологической оценки степени воздействия факторов антропогенной и техногенной трансформации территории [6].

### Материалы и методы

Для проведения исследования в основе ландшафтного анализа выступают космические снимки с космических аппаратов серии Landsat (1989 г., 2018 г.). Период выбора ДДЗ в пределах года обусловлен максимальной неоднородностью природных и природно-антропогенных элементов ландшафтной структуры в пределах геосистем региона (с середины мая до середины июня). Осуществлен синтез спектральных каналов по видимому (RGB), ближнему (NIR) и среднему (SWIR) инфракрасному диапазонам для повышения контрастности результатов кластеризации. Дешифрирование ДДЗ осуществлялось в программном комплексе (ПК) ScanEx Image Processor v.5.0. с применением алгоритмов, входящих в состав ПК: самоорганизующихся карт Кохонена (Self-Organizing maps), и последующей визуализацией при помощи построения на каждый из ландшафтных районов Оренбургской области минимальных остовых деревьев в отображении Сэммона (рис. 1), которые определяют свойства спектрального (расположение на одной «ветви») и пространственного (близость узлов ИНС на схеме) соотношения классов, выделенных в результате нейросетевой классификации.

Анализ нейронных сетей, отражающих территориальную структуру природопользования в Оренбургской области, может быть разделен на две части: 1) подсчет количества нейронных узлов во всех ответвлениях от одной, единственной выбранной главной цепочки нейронов; 2) подсчет количества ответвлений от главной цепочки вне зависимости от числа нейронов в каждой из них. Главная (ведущая) цепочка нейронов подбирается исходя из следующих критериев: 1) она должна, в случае дихотомии (раздвоения), включать наибольшее количество нейронных узлов; 2) в случае наличия одинакового количества нейронов в двух ответвлениях, выбор должен оставаться за наиболее сложной, т.е. ветвящейся, а не наиболее длинной.

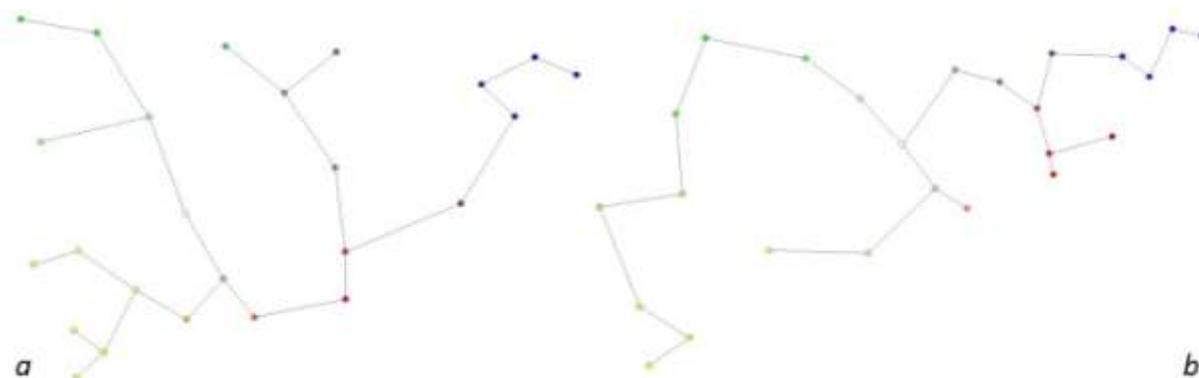


Рисунок 1 – Минимальные остовые деревья в отображении Сэммона, построенные по результатам автоматизированной нейросетевой кластеризации на территорию Нижнесакмаро-Уральского сырцово-увалистого ландшафтного района Оренбургской области за 1989 (a) и 2018 (b) гг.

Подсчет количества нейронных узлов в каждом ответвлении включает: определение длины каждой ветки (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 – узлов), подсчет суммы всех узлов в ветках нейронов за 1989 и 2018 гг. и определение разницы количества узлов за 2018 год по сравнению с 1989 годом. Данный показатель, на наш взгляд, отражает изменение сложности пространственной структуры природно-антропогенных геосистем, а, следовательно, и сложность структуры природопользования в каждом конкретном физико-географическом районе. В отношении использования территории в различных отраслях экономики речь идет, например, о трансформации сельскохозяйственных угодий – росте посевных площадей или, наоборот, увеличении залежного фонда земель. Другим показателем, влияющим на динамику пространственной структуры ландшафтных районов, может быть освоение нефтегазовых месторождений и рост сети соответствующей им инфраструктуры.

Сложность результатов нейросетевой кластеризации в отображении Сэммона проявляется в увеличении числа ответвлений, которые, в свою очередь, выделяются при добавлении резко дифференцирующего значения спектральной яркости. Растительные сообщества, вне зависимости от видового состава, сходным образом влияют на отражательно-поглощательную способность по каналам ДДЗ, и, следовательно, будут размещаться в пределах одной «ветви», либо же занимать главную цепочку нейронов, если естественные/вторичные растительные сообщества занимают подавляющую площадь ландшафтного района. Таким образом, подсчет количества ответвлений отражает в первую очередь степень разнообразия структуры ландшафтного района, включая сюда как природные (квазинатуральные) геосистемы, так и агрохозяйственные, техногенные, селитебные и другие геосистемы с выраженной антропогенной трансформацией природных компонентов ландшафта. Данный показатель фиксирует количество форм природопользования, и различие в их количестве между 1989 г. и 2018 г. означает появление или исчезновение определенных видов природопользования [7]. Например, освоение медноколчеданных месторождений в Зауралье приводит к появлению новой ветки нейронных узлов, связанных с рудным недропользованием.

Для сопоставления результатов нейросетевой кластеризации с существующей схемой ландшафтного районирования рассчитаны показатели корреляции разветвленности нейронной сети ( $N/n$  – число классов в генеральной ветви по отношению к числу классов в ответвлениях) с коэффициентами, характеризующим ландшафтную структуру (индексы неоднородности и разнообразия Шеннона, Одума, Викторова, Глизона-Маргалефа) [8-11], и разницы числа ветвей в нейронных сетях по данным классификации за 2018 и 1989 гг.

**Результаты и обсуждение**

По динамике показателей количества ответвлений в нейронной сети и сложности нейронных веток за 1989 г. и 2018 г. в физико-географических районах Оренбургской области было выделено 5 типов таких районов (рис. 2): 1) «нулевой/стабильный» тип, – районы без каких-либо заметных изменений пространственной структуры; сюда включены преимущественно районы островных лесов; 2) тип «плюс/положительный» – районы с положительной динамикой как сложности нейронной сети, так и ростом числа ответвлений; это ландшафтные районы, выделяющиеся определенным экономическим ростом, прогрессирующим давлением на ландшафтную среду, появлением новых отраслей природопользования; 3) тип «минус/отрицательный» – районы с упрощением нейронной сети, носящей как количественный (снижение числа длинных нейронных веток), так и качественный (сокращение нейронных веток в целом) характер; такие районы выделяются резким снижением экономического потенциала, заметными восстановительными процессами природной среды, снижением численности сельского населения; 4) тип «плюс-минус» – сложный тип, включающий районы с усложнившейся за период 1989-2018 гг. пространственной структурой при одновременном снижении разнообразия, т.е. исчезновении одного или нескольких видов природопользования; усложнение структуры, возможно как за счет сукцессионных процессов, так и локальном появлении техногенных коммуникаций и сетей; 5) тип «минус-плюс» – также тип со сложной динамикой пространственного изменения ландшафтных районов, для которых характерно снижение структурной сложности при появлении новых видов природопользования, например, туристско-рекреационных кластеров; в нейронных сетях специфика данного типа проявляется в сокращении длины нейронных ответвлений при их количественном росте.

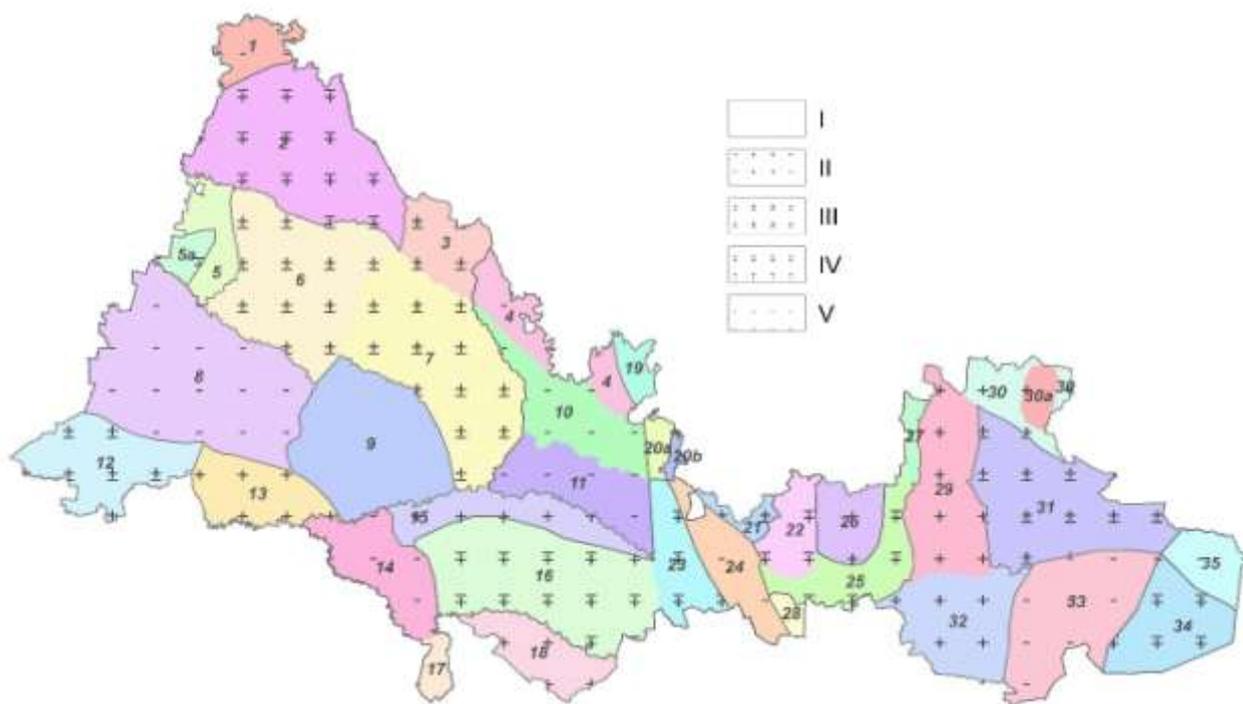


Рисунок 2 – Картограмма динамики показателей количества ответвлений в нейронной сети и сложности нейронных веток за 1989 г. и 2018 г.

*Примечание: Цифрами на картограмме обозначены: 1-35 – физико-географическое районирование Оренбургской области по А.А. Чибилеву; I – «нулевой» тип, II – тип «плюс», III – тип «плюс-минус», IV – тип «минус-плюс», V – тип «минус».*

«Нулевой» тип – охватывает 3 ландшафтных района – «острова стабильности» без существенных изменений пространственной структуры за последние 29 лет. Они существенно отличаются друг от друга тем, что включают горнолесной сельскохозяйственный район, 2 района нефтегазодобычи и активного аграрного производства.

Тип «плюс» – объединяет 9 ландшафтных районов и подрайонов Оренбургской области из 38. К данному типу относятся ландшафтные районы Зауралья с активно развернувшейся разработкой небольших медноколчеданных месторождений и ландшафтные районы Приуралья с осваиваемыми нефтегазовыми месторождениями на фоне истощения углеводородсодержащих структур западных районов области. В девяностые и в нулевые годы указанные ландшафтные районы стали локомотивом экономического развития Оренбуржья. Однако, к настоящему времени практически все рудные и нефтегазовые месторождения в их пределах исчерпаны. Определенные перспективы связаны только с Иртек-Кинделинским районом. В дальнейшем центр тяжести нефтегазовой добычи окончательно переместится в Предуральский и Магнитогорский прогибы.

Тип «минус» – включает 11 ландшафтных районов, географически относящихся как к территориям с высоким природно-ресурсным потенциалом (Предуралье), так и с низким (Восточно-Уральское поднятие Зауралья). В пределах районов происходит резкое снижение сельскохозяйственного производства, формирование горнопромышленных моноцентров (Ясный), узко специализированных нефтедобывающих районов (Бузулук-Присамарский район), развитие депрессивного «фронта» на границе с Казахстаном.

Тип «плюс-минус» – сравнительно небольшой тип из 6 ландшафтных районов, специфичных тем, что исчезновение отдельного типа природопользования, так или иначе, связано с сельскохозяйственным производством. При этом это может проявляться либо в форме почти полной его ликвидации и заменой заповедно-охранной формой природопользования (Шайтантау-Куруильский район), либо утратой его на отдельных крупных площадях в связи с активным освоением нефтегазодобычи и ростом инфраструктуры месторождений (районы Общего Сырта) с резким расширением земель залежного фонда, либо резким разукрупнением аграрного производства с ликвидацией крупных агрохозяйственных и селитебных центров (Зауралье).

Тип «минус-плюс» – также один из многочисленных типов ландшафтных районов (9 районов), проиндексированных нейронными сетями по структуре природопользования. С одной стороны сюда относятся районы с выделившимся туристско-рекреационным кластером (национальный парк «Бузулукский бор» и развитие грязе-рапного курорта «Соль-Илецкие озера»), с другой – формирование карьерно-отвалных геосистем (бедлендов) в старых горно-рудных районах, наконец, с третьей, – возникновение новых центров добычи различных видов сырья на фоне снижения площади сельскохозяйственного использования в низкогорно-грядовых районах Предуралья.

Сопоставляя данные, полученные на основе нейросетевого анализа, по ландшафтным районам Оренбургской области и индексы ландшафтного разнообразия и сложности (табл. 1), можно отметить следующее: коэффициенты энтропии и их связь со степенью разветвления нейронной сети довольно проста, чем выше становятся показатели дискретности и разнообразия структуры территории, выше плотность контуров, тем, соответственно, разветвленнее нейронная сеть.

Таблица 1 – Корреляционное отношение показателя разветвленности нейронной сети к коэффициентам, характеризующим ландшафтную структуру

	Индекс разнообразия	Индекс сложности	Индекс Викторова	Индекс Глизна-Маргалефа	Индекс Одума
Коэффициент корреляции	0,89	0,79	0,83	-0,68	-0,94

Снижение антропогенной нагрузки на ландшафт одновременно связано с упрощением нейронной сети за счет уменьшения количества ветвей и параллельно с этим повышением числа «длинных» ветвей с большим количеством нейронов (по индексу Одума). То есть короткие ветви означают увеличение как числа типов природопользования с отдельными специфическими и контрастирующими геосистемами, например, урботехногенными, нефтегазовых месторождений, мелиоративного земледелия. Индекс Викторова, характеризующий хронологическую сложность территории, обнаруживает естественную прямую корреляцию с разветвленностью нейронных сетей, что закономерно связывается в первую очередь со структурой природопользования. Индекс Глизна-Маргалефа максимален при небольшом количестве контуров в классе, но при их максимальном представительстве, т.е. имеет наибольшие значения в мелких ландшафтных районах Оренбургской области, расположенных на периферии – горно-лесостепных и горностепных. Таким образом, вследствие, как правило, низкой антропогенной трансформации и небольшого разнообразия форм природопользования степень разветвленности нейронных сетей здесь ниже.

### Выводы

Полученные данные позволяют констатировать, что анализ нейросетей, полученных с помощью сегментации, вполне корректно отображает трансформацию природопользования при оценке на уровне отдельных ландшафтных районов, что позволяет учесть и специфику естественного природного районирования. Для Оренбургской области соотношение данных за период 1989-2018 гг. показывает, что появились и продолжают расширяться преимущественно по периферии региона территории с резким снижением как сельскохозяйственного производства, так и в целом антропогенной трансформации территории. Ландшафтных районов, которые в настоящее время испытывают напротив рост антропогенного воздействия, относительно немного, и они связаны почти исключительно с активизацией недропользования.

### Благодарности

*Статья подготовлена в рамках темы НИР «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем» № АААА-А21-121011190016-1.*

### Список литературы

1. Чибилев А.А., Дебело П.В. Ландшафты Урало-Каспийского региона. Оренбург: Институт УрО РАН, Печатный дом «Димур», 2006. 264 с.
2. Романов А.А., Рубанов К.А. Сравнение методов объектно-ориентированной и нейросетевой классификации данных дистанционного зондирования Земли на основе материалов систем Landsat-5 и Orbview-3 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 4. С. 29-36.

3. Зарубин О.А. Применение нейронных сетей для целей анализа данных дистанционного зондирования Земли // *Современные научные исследования и инновации*. 2016. № 8 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2016/08/70887> (дата обращения: 18.08.2022).
4. Пьянков С.В., Пономарчук А.И., Шихов А.Н. Космический мониторинг Пермского региона // *Земля из космоса: наиболее эффективные решения*. М.: ИТЦ «СКАНЭКС». 2013. № 16. С. 37-40.
5. Гурьева М.Н. Применение самоорганизующейся карты Кохонена для сегментации гиперспектральных изображений // *ГРАФИКОН'2015: Труды Юбилейной 25-й междунар. конф.* (Протвино, 22-25 сент. 2015 г.). Протвино: Изд-во Автономная некоммерческая организация «Институт физико-технической информатики», 2015. С. 93-95.
6. Беленко В.В. Концепция и технология мониторинга земель застраиваемых территорий по материалам космической съемки // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2019. Т. 63. № 3. С. 312-323.
7. Зворыкин К.В. Географическая концепция природопользования // *Вестн. МГУ. Серия 5. География*. 1993. № 3. С. 3-16.
8. Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения // *Количественные методы экологии и гидробиологии: сб. науч. трудов, посвящ. памяти А.И. Баканова*. Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. С. 91-129.
9. Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н., Алешенко Г.М. Разнообразие ландшафта и методы его измерения // *География и мониторинг биоразнообразия*. М., 2002. 98 с.
10. Shannon C.E. The mathematical theory of communication // *Bell Syst. Techn. J.* 1948. vol. 27. pp. 379-423, 623-656.
11. Ramezani H.A. Note on the Normalized Definition of Shannon's Diversity Index in Landscape Pattern Analysis // *Environment and Natural Resources Research*. 2012. vol. 2. no. 4. pp. 54-60. DOI:10.5539/enrr.v2n4p54.
12. Викторов А.С. Рисунок ландшафта. М.: Мысль, 1986. 179 с.
13. Margalef R. Information Theory in Ecology // *International Journ. of General Systems*. 1958. vol. 3. pp. 36-71.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 02.11.2022  
Принята к публикации 12.12.2022

**A NEURONET ANALYSIS OF THE MORPHOLOGICAL STRUCTURE  
TRANSFORMATION OF LANDSCAPE GEOSYSTEMS IN THE ORENBURG REGION  
V. Petrishchev<sup>1,2</sup>, R. Ryakhov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, Orenburg

<sup>2</sup>Orenburg State University, Russia, Orenburg  
e-mail: remus.rv@gmail.com

The purpose of the article is to determine the qualitative transformation of the structure of natural complexes by comparing indicators of landscape areas in the Orenburg region. The most modern version of landscape zoning by A.A. Chibilev laid in the basis of the study. At the same time, the geoinformation analysis is based on satellite images of Landsat 5 (1989) and Landsat 8 (2018). To identify a qualitative transformation, the method of artificial neuronets in the Sammon mapping was used. For the Orenburg region, it was determined that they appeared and continue to

expand mainly along the periphery of the region with a sharp decrease in agricultural production and anthropogenic transformation of the territory. There are relatively few landscape areas that are currently experiencing an increase in anthropogenic impact; it is mainly connected with the intensification of subsoil use.

*Key words:* morphological structure, landscape areas of the Orenburg region, neuronet analysis, minimum spanning tree.

### References

1. Chibilev A.A., Debelo P.V. Landshafty Uralo-Kaspiiskogo regiona. Orenburg: Institut UrO RAN, Pechatnyi dom "Dimur", 2006. 264 s.
2. Romanov A.A., Rubanov K.A. Sravnenie metodov ob"ektno-orientirovannoi i neirosetevoi klassifikatsii dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli na osnove materialov sistem Landsat-5 i Orbview-3. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2012. T. 9. N 4. S. 29-36.
3. Zarubin O.A. Primenenie neironnykh setei dlya tselei analiza dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli. Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii. 2016. N 8 [Elektronnyi resurs]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2016/08/70887> (data obrashcheniya: 18.08.2022).
4. P'yankov S.V., Ponomarchuk A.I., Shikhov A.N. Kosmicheskii monitoring Permskogo regiona. Zemlya iz kosmosa: naibolee effektivnye resheniya. M.: ITTs "SKANEKS". 2013. N 16. S. 37-40.
5. Gur'eva M.N. Primenenie samoorganizuyushcheysya karty Kokhonena dlya segmentatsii giperspektral'nykh izobrazhenii. GRAFIKON'2015: Trudy Yubileinoi 25-i mezhdunar. konf. (Protvino, 22-25 sent. 2015 g.). Protvino: Izd-vo Avtonomnaya nekommercheskaya organizatsiya "Institut fiziko-tekhnicheskoi informatiki", 2015. S. 93-95.
6. Belenko V.V. Kontseptsiya i tekhnologiya monitoringa zemel' zastraivaemykh territorii po materialam kosmicheskoi s"emki. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geodeziya i aerofotos"emka. 2019. T. 63. N 3. S. 312-323.
7. Zvorykin K.V. Geograficheskaya kontseptsiya prirodopol'zovaniya. Vestn. MGU. Seriya 5. Geografiya. 1993. N 3. S. 3-16.
8. Shitikov V.K., Rozenberg G.S. Otsenka bioraznoobraziya: popytka formal'nogo obobshcheniya. Kolichestvennye metody ekologii i gidrobiologii: sb. nauch. trudov, posvyashch. pamyati A.I. Bakanova. Tol'yatti: SamNTs RAN, 2005. S. 91-129.
9. Puzachenko Yu.G., D'yakonov K.N., Aleshchenko G.M. Raznoobrazie landshafta i metody ego izmereniya. Geografiya i monitoring bioraznoobraziya. M., 2002. 98 s.
10. Shannon C.E. The mathematical theory of communication. Bell Syst. Techn. J. 1948. vol. 27. pp. 379-423, 623-656.
11. Ramezani H.A. Note on the Normalized Definition of Shannon's Diversity Index in Landscape Pattern Analysis. Environment and Natural Resources Research. 2012. vol. 2. no. 4. pp. 54-60. DOI:10.5539/enrr.v2n4p54.
12. Viktorov A.S. Risunok landshafta. M.: Mysl', 1986. 179 s.
13. Margalef R. Information Theory in Ecology. International Journ. of General Systems. 1958. vol. 3. pp. 36-71.

### Сведения об авторах:

Вадим Павлович Петрищев  
Д.г.н., доцент, ведущий научный сотрудник отдела природно-техногенных геосистем,  
Институт степи УрО РАН  
ORCID 0000-0002-7711-8141

Vadim Petrishchev

Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Department of Natural and Technogenic Geosystems, Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Роман Васильевич Ряхов

Научный сотрудник отдела природно-техногенных геосистем, Институт степи УрО  
РАН

ORCID 0000-0002-4762-3286

Roman Ryakhov

Researcher, Department of Natural and Technogenic Geosystems, Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

**Для цитирования:** Петрищев В.П., Ряхов Р.В. Нейросетевой анализ трансформации морфологической структуры ландшафтных районов Оренбургской области // Вопросы степеведения. 2022. № 4. С. 4-12. DOI: 10.24412/2712-8628-2022-4-4-12