

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 911.2

DOI: 10.15372/GIPR20240110

А.А. ЧИБИЛЁВ*, В.П. ПЕТРИЩЕВ*. **, Р.В. РЯХОВ*

*Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН,
460000, Оренбург, ул. Пионерская, 11, Россия,
orensteppe@mail.ru, wadpetr@mail.ru

**Оренбургский государственный университет,
460018, Оренбург, пр-т Победы, 13, Россия, wadpetr@mail.ru, geologia@mail.osu.ru

МОРФОИНДИКАЦИЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ РАЙОНОВ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

Рассмотрено одно из основных направлений современного изучения ландшафтной структуры — своевременная актуализация структурно-динамических особенностей геосистем с учетом степени антропогенной нагрузки. Изучены исторические предпосылки развития представлений о физико-географическом делении Оренбургской области и проведен геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования с применением нейросетевых алгоритмов на основе самоорганизующихся карт Кохонена с целью сопоставления структуры природных рубежей с актуальной структурой природно-антропогенных комплексов. Для этого проведен расчет количественных показателей (площадь физико-географического района, количество классов (типы урочищ), количество ландшафтных контуров, среднее количество контуров в классе, средняя площадь одного контура, плотность контуров в физико-географическом районе, коэффициент сложности, максимально возможная сложность ландшафта, абсолютная организация ландшафта (мера неуравновешенности), относительная организация ландшафта, коэффициент ландшафтной раздробленности) и индексов дифференциации ландшафтной структуры (коэффициенты энтропийной сложности и разнообразия Шеннона, индексы неоднородности Ивашутиной-Николаева, Одума, Глизона-Маргалефа, Симпсона) и построены картосхемы территории региона, отражающие их пространственное распределение по ландшафтному району. По результатам исследования определены тенденции изменения ландшафтной структуры Оренбургской области. К ним относятся: изменения степени контурности геосистем, динамика выраженности межландшафтных рубежей, антропогенная дисперсия геосистем, степень доминирования отдельных элементов ландшафта. Определены различия в тенденциях изменения ландшафтной структуры по лесостепным, петроморфным и гидроморфным геосистемам в сравнении с преобладающими на территории региона аридными степными ландшафтами в зависимости от степени агрогенной и техногенной трансформации.

Ключевые слова: структура геосистем, антропогенная нагрузка, индексы ландшафтной дифференциации, степная зона России, энтропийная мера сложности и разнообразия, контурность.

A.A. CHIBILEV*, V.P. PETRISHCHEV*. **, R.V. RYAKHOV*

*Orenburg Federal Research Center, Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
460000, Orenburg, ul. Pionerskaya, 11, Russia, orensteppe@mail.ru, wadpetr@mail.ru, geologia@mail.osu.ru

**Orenburg State University, 460018, Orenburg, pr. Pobedy, 13, Russia, wadpetr@mail.ru

MORPHOINDICATION OF PHYSICAL-GEOGRAPHICAL REGIONS OF ORENBURG OBLAST

One of the main directions of the modern study of landscape structure is timely updating of the structural and dynamic features of geosystems, taking into account the degree of anthropogenic load. The article examines the historical prerequisites for

the development of ideas about the physical and geographical division of Orenburg oblast. A geoinformation analysis of remote sensing data has been carried out using neural network algorithms based on self-organizing Kohonen maps in order to compare the structure of natural boundaries with the actual structure of natural-anthropogenic complexes. For this purpose, we calculated quantitative indicators (namely, the area of the physical-geographical region, the number of classes (types of tracts), the number of landscape contours, the average number of contours in a class, the average area of one contour, the density of contours in the physical-geographical region, the coefficient of complexity, the maximum possible complexity of a landscape, the absolute organization of a landscape (a measure of imbalance), the relative organization of a landscape, and the coefficient of landscape fragmentation) and indices of differentiation of the landscape structure (coefficients of entropic complexity and Shannon diversity, and indices of heterogeneity of Ivashutina-Nikolaev, Odum, Glison-Margalef, and Simpson). Moreover, schematic maps of the region's territory were compiled, reflecting their spatial distribution over landscape areas. Based on the results of the study, tendencies of changes in the landscape structure of Orenburg oblast have been determined. They include changes in the degree of contouring of geosystems, dynamics of the severity of interlandscape boundaries, anthropogenic dispersion of geosystems, the degree of dominance of individual elements of the landscape. Differences in the tendencies of changes in the landscape structure of forest-steppe, petromorphic and hydromorphic geosystems in comparison with the arid steppe landscapes prevailing in the region have been identified depending on the degree of agrogenic and technogenic transformation.

Keywords: *structure of geosystems, anthropogenic load, indices of landscape differentiation, steppe zone of Russia, entropy measure of complexity and diversity, contouring.*

ВВЕДЕНИЕ

При усовершенствовании схем территориального планирования Оренбургской области остро стоит вопрос актуализации физико-географических границ с учетом структурно-динамических особенностей агрогенного и техногенного воздействия на компоненты ландшафтов. Одна из проблем заключается в проведении рубежа между степной и лесостепной природными зонами. Существующее физико-географическое районирование Оренбургской области имеет достаточно давнюю историю и осуществлялось как минимум четырежды. Первое выделение природных границ относится к работам С.С. Неуструева [1]. Иное представление о естественных рубежах Оренбургского края была дано Ф.Н. Мильковым [2, 3] и в дальнейшем развито Г.А. Русскиным [4]. Также воронежский след прослеживается в физико-географическом районировании, предложенном А.А. Чибилевым [5, 6], которое остается в настоящее время наиболее фактологически доказанным в ряде работ автора.

На протяжении 100 лет изучения территории региона сформировались, зачастую, противоположные взгляды ученых на физико-географическое районирование. Принято считать, что все существующие на сегодня ландшафтные карты территории Оренбургской области базируются исключительно на природных факторах. При этом игнорируется разрушительное воздействие агрогенных и техногенных процессов [7, 8]. История освоения региона тесно связана с сильнейшей трансформацией морфологической структуры степных ландшафтов: начиная с кочевого скотоводства киргиз-кайсацких племен, переселения русских государственных крестьян из центрально-черноземных губерний, первых попыток разработки золоторудных месторождений и заканчивая несколькими аграрными реформами, сопровождавшимися экстенсификацией сельского хозяйства путем включения в севооборот новоосвоенных целинных территорий, а также интенсификацией разработки рудных и углеводородных полезных ископаемых. Конец XX—начало XXI в. выделяется появлением нового — залежного — типа сельскохозяйственных угодий, при котором низкопродуктивные агроландшафты «выпали» из сельскохозяйственного оборота, и произошло образование залежных и вторично-степных участков. Данные дистанционного зондирования (ДДЗ) обеспечивают возможность изучения вышеуказанных динамических процессов в структуре антропогенной трансформации геосистем на протяжении последних десятилетий.

Цель работы — математически оценить степени антропогенной трансформации степных и лесостепных геосистем Оренбургской области за тридцатилетний период. Основная задача данного исследования состоит в сопоставлении выделенных физико-географических границ Оренбургской области (2000) с результатами расчета индексов ландшафтной дифференциации по дешифрованным данным дистанционного зондирования для двух временных периодов (1989, 2018), которые соответствуют определенным этапам антропогенной трансформации степных геосистем в Оренбуржье, ведущую роль среди которых играют агрогенные процессы и процессы недропользования.

При рассмотрении физико-географического районирования региона особое внимание необходимо уделить определению зональных и провинциальных границ. Проводя сравнительный анализ существующих тематических районирований региона, можно проследить существенную тенденцию смещения зоны лесостепей к северной границе области. Особенно четко данный фактор проявляется в пределах Общего Сырта (рис. 1).

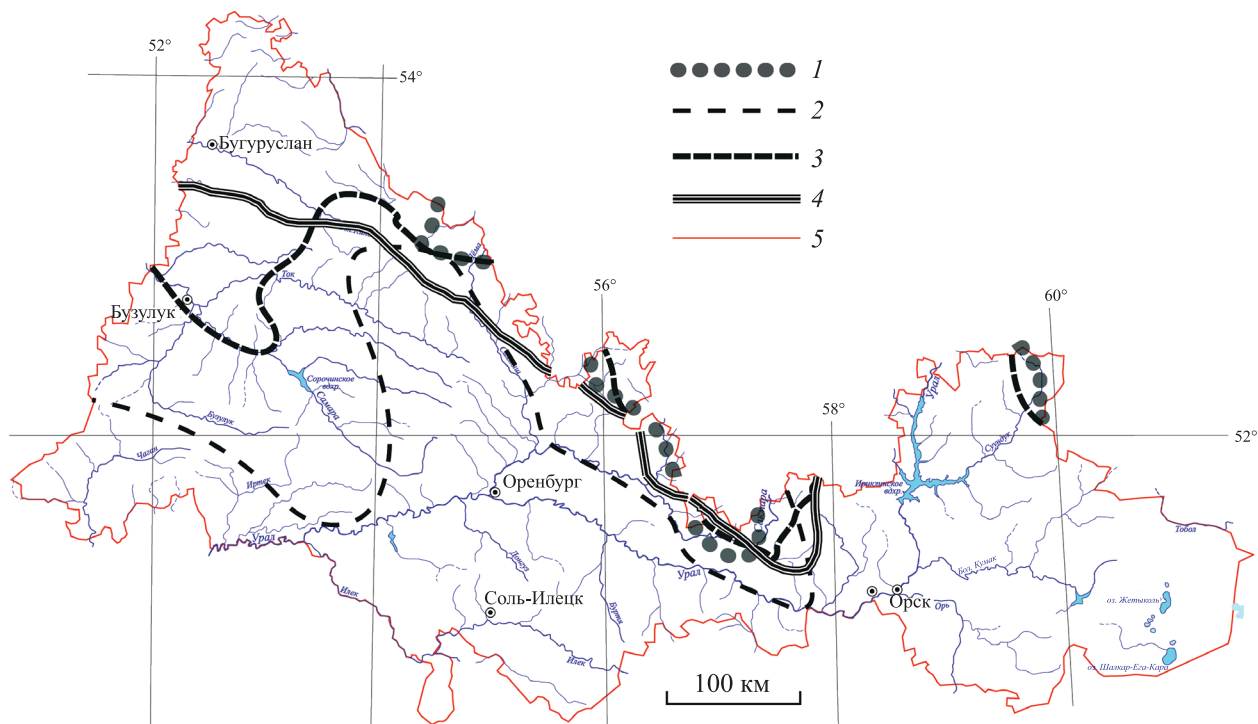


Рис. 1. Смещение физико-географической границы между степной и лесостепной зонами Оренбургской области в результате антропогенной трансформации по данным ландшафтного картографирования (по [1–6]).

Границы между степной и лесостепной зонами по результатам исследователей: 1 — С.С. Неуструева [1], 2 — Ф.Н. Милькова [2, 3] 3 — Г.А. Русскина [4], 4 — А.А. Чибилёва [5, 6]. 5 — граница Оренбургской области.

Отмечены определенные особенности в отношении прохождения ключевой зональной границы между лесостепной и степной зонами. От районирования Ф.Н. Милькова [2, 3] к более поздним вариантам Г.А. Русскина [4] и А.А. Чибилёва [5, 6] граница между лесостепью и степью постепенно смещается в пределах Общего Сырта к северу (см. рис. 1), что объясняется снижением лесопокрытой площади в результате крупноплощадного развития пахотных угодий и освоением многочисленных нефтегазовых месторождений. По районированию Ф.Н. Милькова [2, 3], южная граница лесостепи должна проходить по Бузулук-Чаганскому водоразделу Общего Сырта, достигая долины р. Урал в пределах Уральской Уремы. Восточнее степная зона формирует субмеридиональный «язык», уходящий далеко на север, вплоть до верховий р. Большой Кинели. И затем лесостепь спускается к югу по территории Оренбургского Предуралья, повторно достигая долины р. Урал в пределах низкогорий Южного Урала. Г.А. Русскин [4] проводит границу степи и лесостепи существенно севернее, при этом включая в облесенные территории бассейн р. Боровки и, частично, Ток-Самарское междуречье. Это объясняется наличием реликтового хвойного бора и высокой степенью (для степного региона) облесенности правобережья р. Самары. По районированию А.А. Чибилёва [5, 6], пограничная часть между природными зонами отличается более сглаженным характером проведения. Отсутствуют резкие «языкообразные» ответвления природных зон. Граница плавно смещается в южном направлении, вследствие активизации факторов ландшафтной дифференциации предгорьями Южного Урала (эффект барьерности, повышение абсолютных отметок высот). В пределах Оренбургского Зауралья лесостепные ландшафты не прослеживаются. Лесные массивы носят фрагментарный, «островной» характер и не имеют четкой породной и возрастной структуры, что не позволяет идентифицировать их как признаки лесостепи.

Для районирования С.С. Неуструева [1] и Г.А. Русскина [4] характерна симметричность зональных границ, в которых отмечается синергетическое взаимовлияние зональных и провинциальных рубежей, в результате чего авторами литоморфные геосистемы островных лесов часто определяются как зональные (Бузулукский бор, Кваркенская лесостепь), а зональные границы могут быть прерывистыми (например, лесостепь прерывается в долине Салмыша). Смещение границы лесостепи и степи в уральских низкогорьях от более ранних вариантов районирования к более поздним идет с северо-за-

пада на северо-восток в сторону Саринского плато. Таким образом, мы предполагаем, что тенденция смещения границы лесостепной и степной зон в северном направлении определяется, в первую очередь, нарастанием антропогенной трансформации ландшафтных геосистем Оренбургской области в 1940–1980 гг., т. е. в период, описываемый известными концепциями физико-географического районирования.

Анализ соотношения провинциальных границ при сопоставлении физико-географического районирования вышеперечисленных авторов показывает, что практически полная корреляция границ отмечается в четырех случаях: двух субширотных и двух субмеридиональных. Субширотные случаи связаны с асимметрией водораздельных пространств Общего Сырта, где совмещаются блоково-неотектонические и структурно-геоморфологические причины с широтно-зональными. Субмеридиональные совпадения провинциальных рубежей относятся к западному и восточному склонам Южного Урала, соответствующим шарьяжным надвигам.

Взятое за основу физико-географическое районирование и выделенные широтно-зональные и геолого-геоморфологические азональные границы по районированию А.А. Чибилева [5, 6] существенно отличаются от данных, полученных на основе спектрального анализа поверхности космическими аппаратами.

Тематически дешифрованные ДДЗ позволяют проследить как зональную дифференциацию растительного покрова, особенно на границе между лесостепными и степными провинциями, так и степень антропогенной фрагментации территории, формирование крупных массивов пахотных агроландшафтов, техногеосистем нефтегазовых месторождений с разветвленной инфраструктурой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При анализе особенностей морфологической структуры ландшафтов Оренбургской области использовались физико-географическое районирование А.А. Чибилева [5], основой для которого являлись как экспедиционные исследования, так и топографическая основа м-ба 1:100 000, ландшафтно-типологическая карта Оренбургской области А.А. Чибилева м-ба 1:500 000 [5]. Для объективного понимания особенностей физико-географического районирования территории Оренбургской области рассматривались научные работы Ф.Н. Милькова [3] и Г.А. Русскина [4].

При сопоставлении структуры современного землепользования и землепользования времен СССР использовались карты внутрихозяйственного землеустройства административных районов Оренбургской области м-ба 1:25 000 [7], схемы лесоустройства лесхозов и лесничеств области м-ба 1:25 000 [8], а также топографическая основа м-ба 1:100 000 [9] за период 1984–2010 гг. Использование крупномасштабных картографических источников выполнялось для наиболее спорных территорий (например, при наложении границ ландшафтного районирования, аномальных значений индексов, отражающих ландшафтную структуру).

Тематические карты позволяют в целом определить динамику трансформации структуры ландшафтов региона и являются основой для выявления воздействия различных видов природопользования на ландшафт [10, 11]. Построение самоорганизующихся карт Кохонена (Self-Organizing maps) при анализе морфологической структуры ландшафтных геосистем на основе ДДЗ представляет собой одну из технологий автоматизированной классификации поверхности [12]. Самоорганизующиеся карты Кохонена позволяют адаптировать мульти- и гиперспектральные изображения для анализа ландшафтной структуры. Результатом классификации поверхности является RGB-модель, скорректированная по классам, обладающим наиболее близкими спектрально-яркостными параметрами [13].

Одним из способов анализа пространственной структуры геосистем служат различные математические коэффициенты, отражающие изменение степени фрагментации физико-географических районов, насыщенности контурами определенных классов ландшафтов [14, 15]. К ним относятся индексы энтропийной меры разнообразия и сложности (индексы Шеннона) [16, 17], индексы неоднородности Ивашутиной-Николаева [18], Одума [19], Глизона-Маргалефа [20], Симпсона [21] и т. д. Для их расчета были получены количественные показатели дифференциации ландшафтной структуры [22], определенные по данным дистанционного зондирования: площадь физико-географического района (S), количество классов/типы урочищ (m), количество ландшафтных контуров (n), среднее количество контуров в классе (p), средняя площадь 1 контура (S_0), Плотность контуров в физико-географическом районе (k), коэффициент сложности ($K_{\text{сложн}}$), максимально возможная сложность ландшафта (H_{max}), абсолютная организация ландшафта (мера неуравновешенности) (H), относительная организация ландшафта (R), коэффициент ландшафтной раздробленности (K).

Исследование проведено по результатам анализа мозаик (13 изображений на каждый исследуемый период) космических снимков Landsat по состоянию территории Оренбургской области на период конца мая—начала июня 1989 и 2018 гг. С использованием программного комплекса ScanEx Image Processor получена дифференциация территории методом автоматизированной сегментации ДДЗ (разделение спутниковых изображений на основании пространственной и спектральной близости пикселей). Собрана база данных математических параметров, которая включает вышеупомянутые количественные показатели дифференциации ландшафтной структуры и индексные коэффициенты, отражающие изменение степени фрагментации геосистем. Получен ряд числовых показателей, характеризующий каждый из ландшафтных районов Оренбургской области. Следует отметить, что индексы, отражающие структуру ландшафтных геосистем, широко используются как во многих регионах России (Астраханская область), так и на мезорегиональном уровне (Курильские острова). При этом отмечается корреляция между низкой антропогенной трансформацией и высоким уровнем ландшафтного разнообразия, что позволяет использовать морфоиндикацию в качестве метода обоснования организации особо охраняемых природных территорий и совершенствования регионального природоохранного каркаса. В ряде исследований предлагается применение промежуточного этапа анализа морфологии ландшафта — ландшафтной карты [23]. В данном случае морфоиндикация — это термин, означающий определение показателей, характеризующих морфологическую структуру ландшафтных геосистем, на основе использования алгоритмов автоматизированной классификации поверхности, представленной космическими снимками.

Чрезвычайно важен для данной работы вопрос о соотношении классификации поверхности по космическим снимкам и ландшафтной структуры. Разумеется, данные понятия не тождественны и очевидно, что для анализа ландшафтной структуры по космическим снимкам требуется промежуточный этап — составление ландшафтной карты, после чего производятся расчеты параметров ландшафтной структуры [23, 24].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Индекс разнообразия Шеннона (Shannon's Diversity Index — SHDI) измеряет многообразие, основанное на двух компонентах: встречаемость и равномерность, т. е. число типов выделов в ландшафте (композиционный компонент), и их равномерное распределение среди исследуемой области (структурный компонент). Если индекс равняется нулю, то в таком случае мы имеем один контур на исследуемой территории. Обычно значения индекса лежат в пределах от 1,5 до 3,5, редко превышая 4,5. Снижение показателя ландшафтного разнообразия через индекс Шеннона, как правило, указывает на повышение экстремальности условий для геосистемы. Исследователи имеют отличающиеся взгляды на вопрос интерпретации результатов расчетов данного индекса применительно к ландшафтной структуре. С его помощью проводят оценку встречаемости и равномерности ландшафтов [25, 26], анализируют многофункциональность природопользования [27], видовое богатство и равномерность распределения природно-территориальных комплексов [14, 15], распределение в реальных ландшафтах классов наземного покрова, пространственного и временного порядка в результате сложного взаимодействия природных и антропогенных процессов [16]. В данном исследовании наиболее актуальным представляется свойство индекса Шеннона, выражающееся в том, что чем выше его показатели, тем больше плотность контуров, составляющих структуру ландшафта, и тем дискретнее и многообразнее структура ландшафта [28]. Возрастание значения индекса связано как с возрастанием числа контуров, так и с ростом равномерности их распределения. Последний показатель относится как к выравниванию площадей контуров по каждому классу, так и в целом по всему физико-географическому району.

Общая тенденция для Оренбургской области заключается в повышении степени контурности и в усилении градиентов в отношении коэффициента Шеннона между различными физико-географическими районами с 1989 по 2018 г. Повышение показателя индекса Шеннона, как правило, указывает на снижение антропогенной трансформации ландшафтной геосистемы. Это демонстрируется через увеличение залежных массивов как в лесостепных районах, так и в пределах российско-казахстанского приграничья. Напротив, степень фрагментации снизилась в Западном Оренбуржье за счет тотальной распашки под технические культуры (подсолнечник) и в пригородной зоне Оренбурга. За период 1989 и 2018 гг. степень разнообразия геосистем, определяемая в соответствии с индексом Шеннона, в целом снизилась (на 1,1 %), степень сложности — увеличилась (на 0,3 %).

Значение индекса разнообразия Шеннона заключается не только в выраженности степени доминирования одного или нескольких природно-антропогенных типов над остальными [29, 30]. По мере повышения доминирования, а следовательно, снижения выравненности, величина индекса падает, особенно реагируя на увеличение степени редкости или уникальности геосистем [26, 31]. В условиях ландшафтных районов Оренбургской области, представляющих собой рефугиумы, значения индекса Шеннона минимальны (Бузулукский бор — 3,79, Малый Накас — 3,77). Также низкие показатели данного индекса отмечаются для лесостепных районов (3,69–3,75) и отдельных южностепных участков (Айтуарская степь, Троицкая степь). Примечательно, что индекс сложности Шеннона «проседает» в тех же физико-географических районах, но не всегда, и имеет более существенную корреляцию (0,7) с плотностью ландшафтных контуров.

В целом в Оренбургской области за период 1989 и 2018 гг. плотность ландшафтных контуров существенно увеличилась. Это произошло в 17 из 38 ландшафтных районах (при значении 0,5 контура и выше на 1 км²). Только в 7 контурность снизилась на аналогичную величину (на 0,4 контура и более на 1 км²). Очевидно, что причинами не могут быть только объекты хозяйственной деятельности. Существенную роль играют стихийные бедствия и восстановительные процессы агроландшафтов. С одной стороны, рост контурности за счет увеличения площади залежных степей в период 1989–2018 гг. послужил фактором повышения биологического разнообразия, с другой — дискретность геосистем усилилась как результат адаптации к внешним природным факторам, выводящим ландшафтный комплекс из состояния равновесия и приводящим к повышению фрагментации [32–34].

Коэффициент ландшафтной неоднородности предложен Л.И. Ивашутиной и В.А. Николаевым [18]. Он характеризуется тем, что при наличии наибольшего числа групп ландшафтов и равном соотношении их площадей в районе коэффициент достигает максимума, т. е. равен 1. Если присутствует лишь одна группа ландшафтов, то он снижается до минимума и становится равным нулю [31]. Анализ динамики индекса неоднородности за период 1989 и 2018 гг. среди физико-географических районов, на которые дифференцирована территория Оренбургской области, показывает, что в целом степень ландшафтной неоднородности снизилась. Тренд повышения уровня доминирования, выравнивания межландшафтных градиентов, сокращения границ между ними прослеживается не повсеместно. Физико-географические районы, охватывающие южную лесостепь, а также облесенные степные ландшафты Общего Сырта, низкогорно-степные ландшафты Губерлинских гор, озерно-степные ландшафты Тургайской равнины испытывают обратную тенденцию — рост показателя неоднородности. Таким образом, лесостепные, петроморфные и гидроморфные геосистемы в условиях общего снижения антропогенной нагрузки испытывают сложные процессы восстановления через усложнение структуры, т. е. иначе реагируют на снижение агрохозяйственного воздействия в отличие от равнинно-степных природных комплексов. Этим процессам содействуют трудноуправляемые стихийные природные процессы — пожары, засухи, нашествия насекомых. Произошло выравнивание значения индекса неоднородности, так как его рост связан именно с теми физико-географическими районами, где его показатель был наиболее низким — «островные» сосновые боры и горно-лесостепные леса, комплексные солонцово-степные ландшафты периферийных для области Тургайской провинции и Утвинской равнины, где наиболее значителен рост индекса Ивашутиной-Николаева (до 0,1–0,15) и наиболее велико воздействие стихийных природных факторов.

Индекс разнообразия Одума характеризует степень антропогенной трансформации ландшафтных комплексов и их отклонение от широтно-зональных показателей степного разнообразия. Наиболее высок данный индекс в пределах физико-географических районов, в наименьшей степени испытывающих различного рода антропогенные воздействия. Сюда относятся: различные лесные массивы на периферии области, частично представляющие собой особо охраняемые природные территории федерального значения (национальный парк «Бузулукский бор», заповедник «Шайтантау» участки заповедника «Оренбургский» — «Айтуарская степь» и «Буртинская степь»); различные степные рефугиумы с сохранившимися вторичными степями на приграничных с Казахстаном территориях (Чибендинская степь, Верхне-Тобольская степь); горные леса и низкогорно-грядовые степи Предуралья; островные сосновые боры Тоболо-Уральской пенеценизированной равнины; островные леса Бугульминско-Белебеевской возвышенности. Нами было определено значение индекса Одума (0,02), которое выделяет физико-географические районы со слабо нарушенной антропогенными процессами морфологической структурой, и значение индекса (0,01), позволяющее разделить районы с умеренными нарушениями от критической стадии.

Интересна динамика данного индекса в период с 1989 по 2018 гг. Он существенно снизился вблизи российско-казахстанского приграничья вследствие активизации пожаров в горно-степных и

жностепных восточных районах, а также за счет выгорания островных боров в Зауралье. Наиболее существенно индекс Одума вырос на низкогорно-лесостепных территориях Предуралья. В целом по области отмечается общий рост индекса, что свидетельствует о снижении степени антропогенной трансформации структуры геосистем. Однако о кардинальном улучшении и устойчивой восстановительной динамике говорить не приходится.

Индекс Глисона–Маргалефа отражает соотношение между контурностью и площадью территории, демонстрируя обратную корреляцию со средним количеством контуров в классе, общим количеством контуров и общей площадью ландшафтной единицы. Максимальное значение индекса характерно только для небольших горно-лесостепных и горно-степных физико-географических районов с минимальным количеством контуров в каждой из разновидностей геосистем. При построении ландшафтных районов по мере возрастания индекса Глисона–Маргалефа их площади закономерно снижаются. Поэтому среди физико-географических районов с низким индексом нет имеющих небольшую площадь. За одним исключением: Илек-Утвинский сыртово-плакорный меловой район при площади 632 км² имеет очень небольшой индекс Глисона–Маргалефа — 5,32. Это может говорить о том, что данная территория сильно ограничена административной границей Оренбургской области, поскольку большая ее часть находится на территории Казахстана, имеет самое низкое количество ландшафтных классов и при этом малое количество контуров в классе.

Следующим показателем, рассчитанным в рамках исследования, стал индекс дисперсии Симпсона. Он является весьма чувствительным индикатором доминирования одного или нескольких видов [35] и ориентирован на вскрытие степени доминирования в сообществе, а также достаточно корректен, так как представляет собой линейную комбинацию дисперсии удельных объемов групп [36]. В то же время, если доля какого-то одного вида (в случае доминирования) стремится к 1, а всех остальных — к нулю, то оба показателя также стремятся к нулю [37]. Это характеризует степень доминирования отдельных природно-территориальных комплексов (обычно в ранге урочищ или подурочищ) в составе ландшафта. Но минимальные значения данного индекса отмечаются у горно-лесостепных районов, небольших по площади «островных» лесных массивов степей и горно-степных территорий Южного Урала. У данного индекса отмечается высокая корреляция (0,88) с площадью ландшафтных районов, что определяют его тесную связь с зональными (фоновыми) геосистемами.

Наряду с динамикой различных коэффициентов, характеризующих трансформацию морфологической структуры ландшафтных комплексов, показательно соотношение между коэффициентами хорологического, типологического и энтропийного разнообразия ландшафтной структуры и сравнительно простыми количественными показателями дифференциации ландшафтной структуры. В качестве примера нами выбрано соотношение между показателем средней площади контуров, полученным в результате классификации поверхности по космическим снимкам, и энтропийной мерой сложности Шеннона (рис. 2). Анализ соотношения показывает, что, с одной стороны, физико-географические

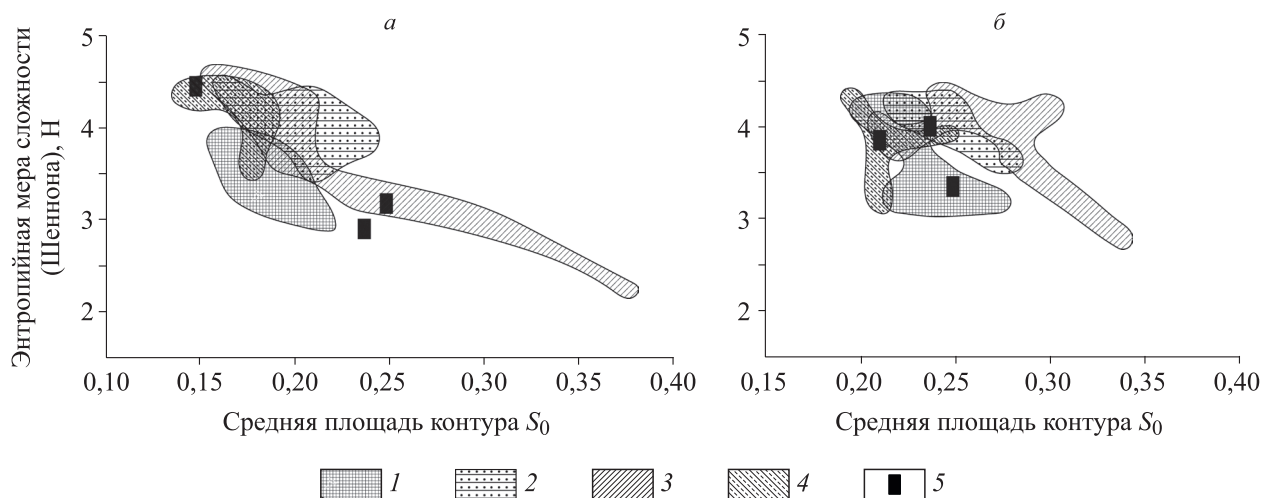


Рис. 2. Соотношение средней площади контура, выделенного при классификации космических снимков на территорию Оренбургской области, и показателей энтропийной меры сложности Шеннона по ландшафтными зонам и подзонам в 1989 г. (а) и 2018 г. (б).

Природные зоны: 1 — лесостепь; 2 — северная степь; 3 — южная степь; 4 — горная степь; 5 — степные горы.

зоны и подзоны, выделяемые на основе как широтно-зональной дифференциации, так и по азональным, литоморфным особенностям геосистем, локализованы определенным образом (для лесостепных ландшафтных районов характерны мелкие контуры и небольшие значения индекса Шеннона; для южностепных — крупные контуры и очень значительный разброс показателей индекса Шеннона). Графики для лесостепных и южностепных ландшафтных районов почти не перекрываются. Однако графики, отражающие значения индекса для промежуточных ландшафтных районов, сочетающих черты лесостепей и южных солонцовых степей, имеющих черты литоморфности (северной степи, горной степи, «островных» боров), плотно накладываются друг на друга. С другой стороны, соотношение между данными показателями в 1989 и 2018 гг. не демонстрирует абсолютного постоянства. В наибольшей степени динамичны ландшафтные комплексы южной степи, охватывающие как Прикаспийскую низменность, так и Зауральский пенеппен и Тургайскую равнину. Ландшафтные районы остальных зон и подзон сгруппированы более компактно и в отношении динамики показателей существенно стабильнее.

В период с 1989 по 2018 г. произошли существенные изменения в средней площади контуров в пределах физико-географических районов. Общая тенденция заключается в сокращении средней площади контуров и роста их плотности. Данный тренд отмечается практически по всей Оренбургской области. Однако наиболее ярко эта тенденция прослеживается в Зауралье и в пределах осевой части Общего Сырта, где развитие залежного фонда приобрело практически обвальное характер.

Иной тренд отмечается для ландшафтных районов со значительной долей лесных урочищ. Снижение контурности произошло в лесостепных, горно-лесостепных и лесо-боровых районах отчасти за счет естественного лесовосстановления, отчасти за счет снижения вырубок (особенно после создания национального парка «Бузулукский бор»).

Сходство при сравнении параметров, характеризующих динамику развития, демонстрируют ландшафтные районы южной степи, являющиеся одновременно районами российско-казахстанского приграничья. Некоторое увеличение размеров контуров и снижение их числа является общей особенностью южных районов. Трудно, конечно, представить увеличение распаханности на этих землях. Очевидно, постоянное выгорание, слияние массивов некогда распахиваемых угодий воедино, формирование вторичных степей (но не бурьянистых залежей) — таковы основные вехи развития этой территории.

ВЫВОДЫ

1. Данные, иллюстрирующие морфологию геосистем в 1989 г., отражают степень их антропогенной трансформации в соответствии с советской экономической системой и структурой природопользования.

2. Разработанные на протяжении последнего столетия (1918–1999 гг.) в Оренбургской области модели физико-географического районирования характеризуют как принципиально различные подходы к ландшафтной дифференциации, так и существенные сдвиги в степени антропогенной трансформации геосистем, о чем свидетельствует постепенный сдвиг границы лесостепи и степи с юго-востока на северо-запад Оренбуржья.

3. Зональная принадлежность ландшафтных провинций и районов Оренбургской области может быть индексирована через соотношение коэффициента энтропийной меры сложности Шеннона и средней площади ландшафтного контура. Параметры, отражающие морфологическую сложность ландшафтных районов, различающихся по широтно-зональной или высотно-ярусной дифференциации, с одной стороны, имеют существенные отличия (например, для равнинных районов лесостепи и степи), с другой, могут быть относительно близкими (например, для равнинных районов северной и южной степи, и районов горной степи).

4. Анализ изменения морфологической структуры ландшафтных районов Оренбургской области в период 1989 и 2018 гг. показывает, что степень антропогенной трансформации геосистем в Оренбургской области уменьшилась (индекс Одума). Данный показатель существенно снизился в районах российско-казахстанского приграничья и, напротив, увеличился в окраинных районах области, которые обладают природоохранным статусом (заповедник, национальный парк) или имеют перспективы его получения.

5. Индексы сложности и разнообразия ландшафтной структуры Оренбургской области отражают в течение 1989 и 2018 гг. снижение выравненности ландшафтных рубежей и рост контурной плот-

ности (индекс Шеннона), снижение ландшафтной неоднородности и рост доминирования (индекс Ивашутиной–Николаева), что определяется как достаточно противоречивыми процессами снижения прежней масштабной аграрной нагрузки, так и резким ростом малоуправляемых природных процессов (пожары, суховеи, нашествия саранчи).

Работа выполнена в рамках НИР ОФИЦ УрО РАН (Институт степи УрО РАН) «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем» (ГР АААА-А21-121011190016-1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Неуструев С.С.** Естественные районы Оренбургской губернии: (географический очерк). — Оренбург: Народное дело, 1918. — 186 с.
2. **Мильков Ф.Н.** Ландшафтная география и вопросы практики. — М.: Мысль, 1966. — 256 с.
3. **Мильков Ф.Н.** Ландшафтные провинции и районы Чкаловской области // Очерки физической географии Чкаловской области. — Чкалов: Чкаловское изд-во, 1951. — С. 27–58.
4. **Русский Г.А.** Физико-географическое районирование // Атлас Оренбургской области. — М.: Федерал. служба геодезии и картографии России, 1992. — 20 с.
5. **Чибилёв А.А.** Географический атлас Оренбургской области. — М.: ДиК, 1999. — 96 с.
6. **Чибилёв А.А., Дебело П.В.** Ландшафты Урало-Каспийского региона. — Оренбург: Печатный дом «Димур», 2006. — 264 с.
7. **Топографические** карты России и СССР с привязкой координат [Электронный ресурс]. — https://skyready.ucoz.ru/load/prof_karty/topograficheskie_karty_rossii_i_sssr_c_privjazkoj_koordinat_genshtab_chast_01_2003_ozh/8-1-0-1028 (дата обращения 22.04.2021).
8. **ФГИС ЛК** модуль «Публичная лесная карта» [Электронный ресурс]. — <https://pub.fgislk.gov.ru/map/?ysclid=lnvklvg1pj913039926> (дата обращения 05.03.2021).
9. **Карты** генштаба СССР — архив топографических карт [Электронный ресурс]. — <https://satmaps.info/search-map.php?m250=M-40-005-4-1&m2=M-40-03&-lat=51.81934&lng=56.30925> (дата обращения 10.05.2021).
10. **Викторов А.С.** Математическая морфология ландшафта. — М.: Тратек, 1998. — 180 с.
11. **Викторов А.С.** Рисунок ландшафта. — М.: Мысль, 1986. — 179 с.
12. **Пьянков С.В., Пономарчук А.И., Шихов А.Н.** Космический мониторинг Пермского региона // Земля из космоса — наиболее эффективные решения. — 2013. — № 16. — С. 29–32.
13. **Гурьева М.Н.** Применение самоорганизующейся карты Кохонена для сегментации гиперспектральных изображений // Тр. Юбилейной 25-й междунар. конф. «GRAPHICON 2015» АНО научного общества «ГРАФИ-КОН» Ин-та физикотехнич. информатики. — Протвино: Изд-во Ин-та физикотехнич. информатики, 2015. — С. 93–95.
14. **Ганзей К.С.** Оценка ландшафтного разнообразия вулканически активных островов // Изв. РАН. Сер. геогр. — 2014. — Т. 2. — С. 61–70.
15. **Ганзей К.С., Иванов А.Н.** Ландшафтное разнообразие Курильских островов // География и природ. ресурсы. — 2012. — № 2. — С. 87–94.
16. **Рикотта К.** Количественная оценка отклонения ландшафтного разнообразия от потенциальной естественной растительности при помощи энтропии Шеннона // Геоботанич. картографирование. — 2002. — № 2001–2002. — С. 24–31.
17. **Шеннон К.** Работы по теории информации и кибернетике. — М.: Изд-во иностр. лит., 1963. — 830 с.
18. **Ивашутина Л.И., Николаев В.А.** К анализу ландшафтной структуры физико-географических регионов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. География. — 1969. — Т. 4. — С. 49–55.
19. **Одум Ю.** Экология: В 2-х т. Пер. с англ. — М.: Мир, 1986. — Т. 1. — 328 с.; Т. 2. — 376 с.
20. **Margalef R.** Information Theory in Ecology // International Journ. of General Systems. — 1958. — Vol. 3. — P. 36–71.
21. **Simpson E.H.** Measurement of diversity // Nature. — 1949. — Vol. 163, N 688. — P. 688.
22. **Лебедева Н.В., Криволуцкий Д.А., Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н., Алещенко Г.М., Смуров А.В., Максимов В.Н., Тикунов В.С., Огуреева Г.Н., Котова Т.В.** География и мониторинг биоразнообразия. — М.: Изд-во науч. и методич. центра, 2002. — 432 с.
23. **Занозин В.В., Бармин А.Н., Ямашкин С.А.** Методы и алгоритмы оценки ландшафтного разнообразия в морфологическом аспекте на примере центральной части дельты реки Волги // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2020. — С. 114–130.
24. **Макаров В.З., Проказов М.Ю., Затонский В.А.** Создание и анализ карты Волжского пойменного участка в районе г. Саратова с применением геоинформационных технологий // ИтерКарто. ИнтерГИС. — 2015. — Т. 21. — С. 154–157.

25. **Калуцкова Н.Н., Снятков И.А.** Ландшафтное разнообразие заповедников таежной и подтаежной зон европейской части России // Вестн. Тамбов. ун-та. Сер. Естественные и технические науки. — 2013. — Т. 18, № 2. — С. 616–619.
26. **Соколов А.С.** Картографический анализ региональных особенностей ландшафтного разнообразия Белоруссии // Псков. регионологич. журнал. — 2016. — № 4 (28). — С. 59–70.
27. **Марцинкевич Г.И., Счастливая И.И.** Оценка ландшафтного разнообразия природных и природно-антропогенных комплексов Беларуси // Природопользование. — 2005. — № 11. — С. 98–105.
28. **Мэгарран Э.** Экологическое разнообразие и его измерение: пер. с англ. — М.: Мир, 1992. — 184 с.
29. **Антропогенные ландшафты: структура, методы и прикладные аспекты изучения / Ред. Ф.Н. Мильков.** — Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1988. — 144 с.
30. **Мильков Ф.Н.** Человек и ландшафты: очерки антропогенного ландшафтоведения. — М.: Мысль, 1973. — 224 с.
31. **Коробова Т.А.** Картографо-математический анализ неоднородности морфологической структуры ландшафтов и геоэкологических условий Западного Ямала // Криосфера Земли. — 2012. — Т. XVI, № 3. — С. 87–93.
32. **Тишков А.А.** Десять приоритетов сохранения биоразнообразия степей России // Степной бюллетень. — 2003. — № 14. — С. 10–18.
33. **Дзыбов Д.С.** Агростепи: монография. — Ставрополь: Агрус, 2010. — 256 с.
34. **Prishchepov A.V., Myachina K.V., Kamp J., Smelansky I., Dubrovskaya S., Ryakhov R., Grudin D., Yakovlev I., Urazaliyev R.** Multiple trajectories of grassland fragmentation, degradation, and recovery in Russia's steppes // Land Degrad Dev. — 2021. — Vol. 32, N 11. — P. 3220–3235.
35. **Шитиков В.К., Розенберг Г.С.** Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения // Количественные методы экологии и гидробиологии (сб. науч. тр., посвященный памяти А.И. Баканова). — 2005. — С. 91–192.
36. **Розенберг Г.С.** Несколько слов об индексе разнообразия Симпсона // Самарская Лука. — 2007. — Т. 16, № 3 (21). — С. 581–584.
37. **Залепухин В.В.** Теоретические аспекты биоразнообразия: Учеб. пособие. — Волгоград: Изд-во Волгоград. ун-та, 2003. — 192 с.

Поступила в редакцию 21.12.2022

После доработки 06.06.2023

Принята к публикации 23.11.2023