

**КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЛОЖНОСТИ СТРУКТУРЫ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ ТРАНСГРАНИЧНОГО БАСЕЙНА Р. ТУМАННАЯ****Соболькова М.Н.,***Тихоокеанский институт географии ДВО РАН*

Аннотация. Работа посвящена количественной оценке структуры использования земель в пределах трансграничного бассейна р. Туманная. На основе данных дистанционного зондирования составлена карта использования земель в пределах бассейна реки. Анализ результатов картографирования был проведен в пределах административно-территориальных единиц КНР, КНДР и РФ с применением математических методов и количественных приемов анализа карт. Выявлено, что наибольшими значениями количественных показателей сложности обладают припойменные части бассейна в пределах КНР и КНДР. В отличие от периферийных частей бассейна, они подвержены большему антропогенному воздействию. Российская территория бассейна является наименьшей по площади, с меньшим разнообразием типов использования земель и большей их раздробленностью. Это подтверждается прямо пропорциональной зависимостью индекса Маргалефа, относительной организации и коэффициента сложности от площади территории, и обратной зависимостью индекса дробности.

Ключевые слова: трансграничный бассейн, река Туманная, количественные приемы анализа карт, корреляционный анализ

**CORRELATION ANALYSIS OF COMPLEXITY INDICATORS OF THE LAND USE
STRUCTURE IN THE TUMANNAYA RIVER CROSS-BORDER BASIN****Sobolkova M.N.,***Pacific Geographical Institute FEB*

Annotation. The work is devoted to a quantitative assessment of the land use structure within the transboundary Tumannaya River basin. The map of basin land use is based on remote sensing data. The analysis of the mapping was carried out within the administrative-territorial units of the People's Republic of China, the DPRK and the Russian Federation using mathematical methods and quantitative methods of map analysis. It has been revealed that the highest values of quantitative indicators of complexity are found in the floodplain parts of the basin within the China and the DPRK. They are subject to greater anthropogenic impact, unlike the peripheral parts of the basin. The Russian territory within the basin is the smallest, with a smaller variety of land use types and greater fragmentation. This is confirmed by the directly proportional dependence of the Margalef index, relative organization and complexity coefficient on the area, and the inverse dependence of the fractional index.

Keywords: transboundary basin, Tumannaya River, quantitative methods of map analysis, correlation analysis

Введение. Бассейн р. Туманная находится в южной части российского Дальнего Востока и является трансграничным, так как его территория находится в пределах КНР, КНДР и РФ, а также является местом пересечения интересов ближайших стран Северо-Восточной Азии и АТР. Длина реки составляет 549 км, на большем своем протяжении река образует границу между КНР и КНДР. Общая площадь водосбора составляет более 33 тыс. км². Преимущественно бассейн расположен в гористой местности.

Актуальность работы определяется необходимостью изучения различий в современной структуре использования земель бассейна, анализа ее сложности и разнообразия. Особенно важным это является для международных трансграничных территорий, что определяет вектор развития всесторонних отношений между пограничными странами.

Материалы и методы. Международная трансграничная территория обладает рядом отличительных характеристик. Во-первых, она состоит из взаимодействующих приграничных территорий. Во-вторых, эти территории обладают определенным сочетанием природных ресурсов и различными видами хозяйственной деятельности [4]. В-третьих, природным основанием трансграничных территорий являются геосистемы, чаще бассейновые, и специфика их природопользования определяется воздействием на ее части дифференцированных экономик соседних государств. Согласно бассейновому принципу Л. М. Корытного, речной бассейн следует рассматривать как целостную геосистему с четкими границами, являющийся объектом комплексных географических оценок, анализа структуры и динамики, разработки общих принципов, норм и ограничений природопользования по обе стороны от государственной границы [1; 7].

В данной работе картографирование территории с целью изучения и анализа структуры использования земель было проведено с использованием ДДЗ Sentinel-2 и Landsat-8 за май, июнь и сентябрь 2019-2020 гг. Дешифрирование космических снимков по 12 категориям земель выполнено в программе ArcGIS Pro. Классификация типов земель разработана на основе геоэкологической классификации ландшафтов В. А. Николаева [11] и Земельного Кодекса РФ [6]. В результате построена карта использования земель в бассейне р. Туманная на 2020 г. в масштабе 1:100 000 [9].

Трансграничный бассейн р. Туманная был разделен согласно границам административно-территориального деления (АТЕ). В пределах КНР определены городские уезды Аньту, Ванцин, Лунцзин, Тумэнь, Хуньчунь, Хэлун, Яньцзи в составе Яньбань-Корейского АО. В пределах КНДР выделены провинции Хамгён-Пукто и Янгандо, и город особого подчинения Расон. Для российской части выделен Хасанский район.

Результаты и их обсуждение. За основу количественной оценки были взяты группы простейших показателей и показателей сложности ландшафтного рисунка [3; 5; 10; 12]. Приоритетными выделены индекс дробности, коэффициент сложности, энтропийная мера сложности ландшафтного рисунка, коэффициент ландшафтной раздробленности, индекс Маргалефа (табл. 1).

Таблица 1

Основные показатели количественной оценки структуры использования земель в пределах административных единиц бассейна р. Туманная

АТЕ	Площадь АТЕ, км ²	Индекс дробности (к)	Коэффициент сложности (Кслож)	Энтропийная мера сложности ландшафтного рисунка (Н)	Коэффициент ландшафтной раздробленности (К)	Индекс Маргалефа (Дмг)	Коэффициент естественной защитности (Кез)
Хасанский район	37,45	0,45	7,72	1,77	5,88	4,42	0,973
Ванцин	8596,94	0,19	310,57	1,83	0,06	180,26	0,942
Хуньчунь	3035,92	0,26	199,37	3,15	0,13	96,90	0,864
Тумэнь	1046,00	0,39	159,14	2,98	0,25	58,54	0,865
Яньцзи	1731,45	0,32	174,71	3,34	0,18	73,62	0,816
Лунцзин	2190,83	0,42	383,82	3,75	0,11	119,08	0,825
Аньту	1562,30	0,29	130,77	1,89	0,22	61,33	0,908
Хэлун	4502,35	0,22	212,88	2,06	0,10	116,26	0,922
Хамген-Пукто	6990,86	0,19	239,52	3,87	0,08	146,06	0,875
Расон	279,53	0,43	51,51	3,70	0,83	21,13	0,895
Янгандо	3140,84	0,09	25,14	2,63	0,36	34,77	0,875
Среднее		0,29	172,29	2,82	0,75	82,94	0,887

Индекс дробности показывает среднее количество контуров на выделенную территорию исследования [3]. Максимальные значения индекса отмечаются в Хасанском р-не (0,45) и городе Расон (0,43), для которых дробность полигонов объясняется небольшой площадью и близостью территории к государственной границе. Подобное соотношение количества полигонов к площади АТЕ присуще уездам Лунцзин (0,42) и Тумэнь (0,39). Минимальное значение индекса отмечается в провинции Янгандо (0,9) – небольшое количество типов землепользования при большой площади территории провинции.

Сложность структуры ландшафтов прямо пропорциональна числу морфологических единиц и обратно пропорциональна их среднему размеру [5]. Городские уезды Лунцзин (382,8), Ванцин (310,6), Хэлун (212,9) и Хуньчунь (199,4) в Китае, провинция КНДР Хамген-Пукто (239,5) имеют наибольшие значения коэффициента сложности (рис. 1). Подтверждается прямая зависимость сложности от количества морфологических единиц, т. к. отмечены бассейны с наибольшими площадями и количеством полигонов. Значения показателя более 130 характерны для городских уездов в более освоенной центральной части бассейна в зоне основных притоков р. Туманная, где отмечается большое количество выделенных полигонов.

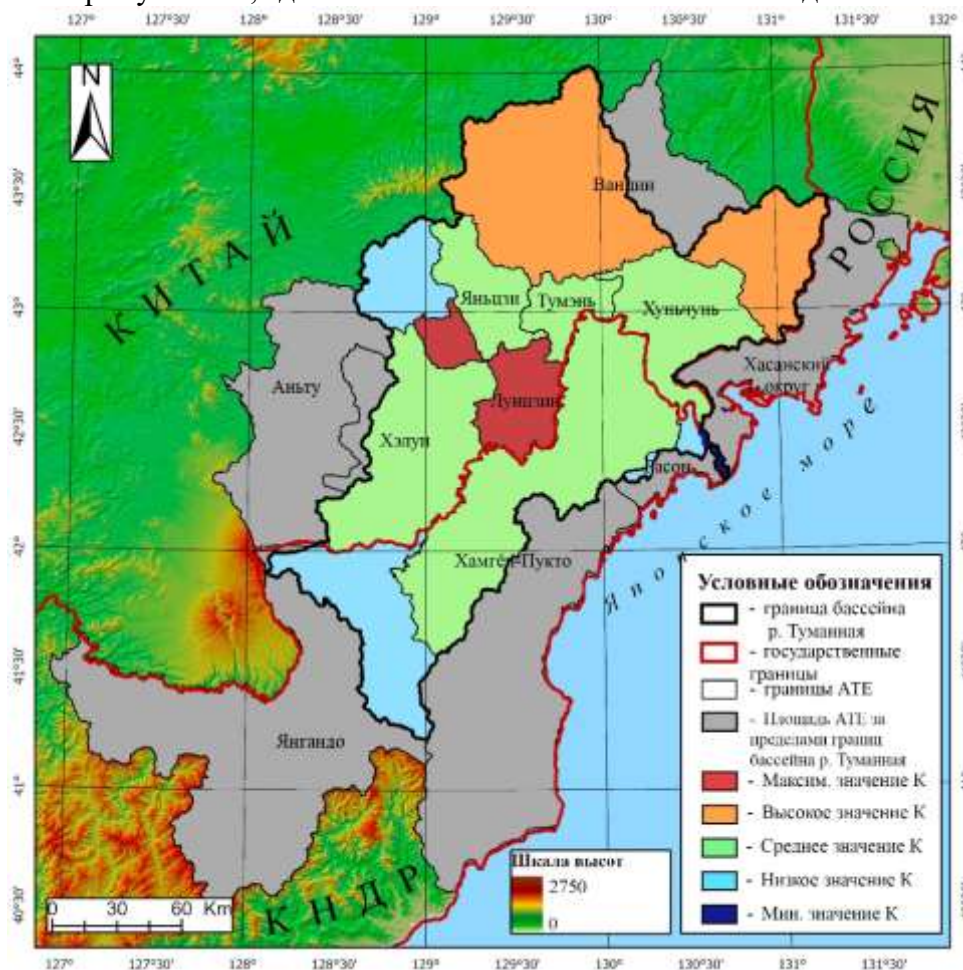


Рис. 1. Ранжирование территории бассейна р. Туманная по значению Коэффициента сложности

Менее сложная структура использования земель свойственна Хасанскому р-ну (7,7) в России, провинции Янгандо (25,4) и городу Расон (51,5) в КНДР. Для Янгандо это можно объяснить наличием крупных полигонов одного типа использования земель (лесные земли, луга, рубки, сельскохозяйственные земли). Две другие АТЕ наименьшие по площади.

Энтропийная мера сложности ландшафтного рисунка (разнообразие) определена с помощью формулы Шеннона-Винера [3]. Данный показатель отражает вероятность смены типа землепользования другим. Расчет показателя позволяет выявить неопределенность типологической принадлежности полигона. Чем более неоднороден участок, тем меньше

неопределенность. Среднее значение для всего бассейна составляет 2,82. Наибольшие значения присущи Хамген-Пукто, Лунцзин, Расон, Янцзи, Хуньчунь, Тумэнь. Здесь отмечается наибольшая освоенность и наименьшая однородность. По периферии бассейна р. Туманная находятся территории с наименьшим значением данного показателя – Аньту и Ванцин с преимущественном доли лесных земель, и Хасанский р-н с преимуществом лесных земель и лугов в структуре использования земель.

Коэффициент ландшафтной раздробленности позволяет оценить среднюю площадь конкретного типа к площади исследуемой территории. Наибольшее значение характерно для Хасанского района (5,88), что объясняет разорванность и раздробленность выделенных полигонов пересечением государственной границы. Также небольшой площадью и высоким значением коэффициента отличается Расон (0,83) в КНДР. Наименьшее значение коэффициента присуще городскому уезду Ванцин (0,06) в Китае. Это самая большая административная единица на периферии бассейна, отличающаяся высоким значением средней площади полигона и однородностью структуры землепользования.

В качестве интегрального показателя ландшафтного разнообразия также используется индекс Р. Маргалефа [10]. Под разнообразием понимается число и частота встречаемости типов использования земель в пределах площади, отражающее структурно-генетическую неоднородность территории [12]. Максимальные значения характерны для городских уездов Ванцин, Лунцзин и Хэлун в китайской части бассейна, и провинции Хамген-Пункто в пределах КНДР (табл. 1). Как отмечалось выше, для этих территорий характерны высокая сложность и низкая раздробленность. О наименьшем разнообразии в Хасанском районе свидетельствует низкое значение индекса (4,42). Стоит отметить устойчивую взаимосвязь показателя с площадью бассейнов – чем больше площадь, тем выше значение индекса.

Согласно бассейновой концепции Кочурова [8] был произведен расчет коэффициента естественной защищенности (Кез) территории, основанный на отношении площади земель со средо- и ресурсо-стабилизирующими функциями к общей площади территории, с учетом антропогенной нагрузки каждого типа использования земель. Для АТЕ в пределах бассейна не отмечено Кез ниже 0,5, что говорит об отсутствии критического уровня защищенности территории. Среднее значение составляет 0,89. Наименьшее значение коэффициента отмечено в уезде Янцзи в КНР (0,816), наибольшее – в Хасанском округе (0,973).

Данные, полученные при картографо-статистическом анализе карты структуры использования земель в бассейне р. Туманная, позволяют не только охарактеризовать количественными показателями особенности ландшафтной организации, но и раскрыть взаимосвязь различных коэффициентов. Для такой характеристики была составлена корреляционная матрица по формуле коэффициента Пирсона для значений количественных показателей на уровне административно-территориального деления (табл. 2) [2; 13].

Площадь территории является важнейшим фактором формирования разнообразия. В первую очередь стоит отметить сильную прямо пропорциональную зависимость индекса Маргалефа, относительной организации и коэффициента сложности как от площади бассейна, так и данных показателей между собой (табл. 2). Хасанский округ, занимающий менее 40 км² в пределах бассейна р. Туманная, обладает минимальными значениями перечисленных показателей (табл. 1). В свою очередь наибольшие АТЕ (Ванцин и Хамген-Пукто) обладают высокими значениями показателей, что отражает типичную закономерность – высокую зависимость между количеством отдельных контуров (полигонов) в пределах бассейна и его площадью [4].

Сильная обратно пропорциональная зависимость от площади АТЕ установлена для индекса дробности. Чем меньше территория (Хасанский округ; Расон), тем больше ее раздробленность. В данном случае это оправдано близостью государственной границы к природной границе бассейна р. Туманная. Наиболее крупные административные территории, наоборот, отличаются высокими значениями индекса дробности за счет большей средней площади отдельных контуров (около 130 км²/на полигон при среднем значении для бассейна около 60).

Корреляционная матрица между разными показателями для административно-территориальных единиц в пределах бассейна р. Туманная

	Площадь АТЕ	Средняя площадь полигона	Индекс дробности	Коэффициент сложности	Энтропийная мера сложности	Относительная организация	Коэффициент раздробленности	Индекс Маргалефа	Коэффициент естественной защищенности
Площадь АТЕ	1,00	0,43	-0,72	0,57	-0,10	0,59	-0,43	0,88	0,15
Средняя площадь полигона	0,43	1,00	-0,87	-0,19	-0,14	0,32	-0,27	0,09	0,00
Индекс дробности	-0,72	-0,87	1,00	-0,09	0,18	-0,60	0,49	-0,45	-0,01
Коэффициент сложности	0,57	-0,19	-0,09	1,00	0,25	0,40	-0,54	0,88	-0,35
Энтропийная мера сложности	-0,10	-0,14	0,18	0,25	1,00	-0,63	-0,39	0,07	-0,77
Относительная организация	0,59	0,32	-0,60	0,40	-0,63	1,00	-0,39	0,58	0,23
Коэффициент раздробленности	-0,43	-0,27	0,49	-0,54	-0,39	-0,39	1,00	-0,56	0,60
Индекс Маргалефа	0,88	0,09	-0,45	0,88	0,07	0,58	-0,56	1,00	-0,10
Коэффициент естественной защищенности	0,15	0,00	-0,01	-0,35	-0,77	0,23	0,60	-0,10	1,00

Коэффициент естественной защищенности (Кез) находится в прямой пропорциональной зависимости от коэффициента раздробленности и в меньшей степени от относительной организации, являющейся производной от энтропийной меры сложности (табл.2). Соответственно, чем более сложна территория, тем более она сбалансирована и устойчива к антропогенному изменению. Противоречив результат корреляционной зависимости Кез от энтропийной меры сложности – зависимость обратно пропорциональна. При этом высокое значение показателя энтропии указывает на разнообразие территории, большую вероятность смены одним типом землепользования другим. Однако, высокое значение показателя соответствует низким значениям коэффициента естественной защищенности, и наоборот.

Выводы.

В первую очередь корреляционная связь отмечается между показателями, вычисленными с учетом площади территории. Так, большую зависимость от последней имеют Индекс Маргалефа, относительная организация и коэффициент сложности. Для наибольших по площади административно-территориальных единиц характерны более высокие значения показателей. При этом для территорий, пересекаемых государственной границей и занимающих небольшие площади, характерны высокие значения энтропийной меры сложности, коэффициента раздробленности и индекса дробности, что подтверждает обратно пропорциональную зависимость. Коэффициент естественной защищенности территории преимущественно коррелирует с коэффициентом раздробленности.

В целом, значения показателей выше среднего характерны для более освоенных и развитых районов бассейна, преимущественно в припойменной части притоков и русла р. Туманная. Для российской части характерна высокая раздробленность в силу ее наименьшей

площади и близости государственной границы. Периферийная часть бассейна, которая находится в более возвышенной части и менее подвержена антропогенному воздействию, отличается меньшим разнообразием и раздробленностью (Ванцин в КНР и Янгандо в КНДР).

Литература

1. Бакланов П.Я., Ганзей С.С., Качур А. Н. Трансграничный диагностический анализ: Программа развития ООН / Фонд Global Environment Facility – Стратегическая программа действий для р. Туманной. Владивосток: Дальнаука, 2002. 253 с.
2. Баврина А. П, Борисов И. Б. Современные правила применения корреляционного анализа / А.П. Баврина, И.Б. Борисов // Медицинский альманах. 2021. №3 (68). С. 70-79.
3. Викторов, А.С. Рисунок ландшафта / А. С. Викторов. М.: Мысль. 1986. 177 с.
4. Ганзей, С. С. Трансграничные геосистемы юга Дальнего Востока России и Северо-Восточного Китая / С. С. Ганзей. Владивосток: Дальнаука, 2004. 232 с
5. Геренчук К. И., Гораш И. К., Топчиев А. Г. Методика определения некоторых параметров морфологической структуры ландшафтов // Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1969. №5. С. 102–109.
6. Земельный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. 15.04.2022) // Собрание законодательства РФ, 2022. 191 с.
7. Коротыный, Л.М. Бассейновая концепция: от гидрологии к природопользованию / Л.М. Коротыный // География и природные ресурсы. 2017. № 2. С. 5–16.
8. Кочуров, Б. И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории: учебное пособие / Б. И. Кочуров. Смоленск: СГУ, 1999. 154 с.
9. Маслова М. Н. Структура использования земель бассейна реки Туманная / М. Н. Маслова // Успехи современного естествознания. 2022. № 8. С. 52.
10. Маргалеф Р. Облик биосферы / М.: Наука, 1992. 215 с
11. Николаев В. А. Ландшафтоведение. Семинарские и практические занятия. М.: Географический факультет МГУ, 2006. 208 с.
12. Пузаченко, Ю. Г. Разнообразие ландшафта и методы его измерения / Ю. Г. Пузаченко, К. Н. Дьяконов, Г. М. Алещенко // География и мониторинг биоразнообразия. М.: Изд-во НУМЦ, 2002. С. 76–178.
13. Филандышева Л. Б, Сапьян Е. С. Статистические методы в географии: учебнометодическое пособие / Л.Б. Филандышева, Е.С. Сапьян. Томск.: Издательский Дом ТГУ, 2015. 216 с.