

УДК 504.54.05+504.54.062

МОРФОЛОГИЯ, РИСУНОК И ГЕОЭКОЛОГИЯ ЛАНДШАФТОВ ТАТАРСТАНА

О.П. Ермолаев, М.Е. Игонин

Аннотация

В статье приводятся основные результаты среднемасштабного ландшафтного картографирования территории Республики Татарстан. Определены подходы к типизации ландшафтов. Впервые для региона приводятся результаты количественного анализа морфологической структуры, рисунка и геоэкологического состояния ландшафта, выполненного средствами ГИС-технологий.

Введение

Ресурсное обеспечение любой территории во многом определяется ее ландшафтными особенностями. Именно ландшафт, являющийся эмерджентным продуктом географической оболочки, дает человеку не только то или иное качество окружающей среды, особенности функционального использования территорий, но и определяет комфортность проживания людей, включая их психоэмоциональное состояние. Ландшафт территории является неотъемлемой операционно-территориальной единицей при изучении геопространств различной размерности в географии, геологии, геоморфологии, экологии, охране окружающей среды. При всей условности проводимых границ любую территорию можно дифференцировать на ландшафтные комплексы различного таксономического ранга. Каждому из них присущ свой специфический набор признаков, каждый из них обладает определенной экологической емкостью и устойчивостью к внешним неблагоприятным воздействиям, содержит тот или иной ресурсный и экологический потенциал. Именно в этом заключается ценность ландшафтной информации. Ландшафтная структура территории наилучшим образом отражается на картах, являющихся по своей сути синтетическими. Несмотря на всю очевидную ценность ландшафтного подхода, большинство территорий России до настоящего времени не имеет среднемасштабных ландшафтных карт. Это же относится и к региону востока Русской равнины. В этой связи целью наших исследований являлось среднемасштабное ландшафтное картографирование и районирование территории в пределах Республики Татарстан (РТ).

В изучаемом регионе Среднего Поволжья проходит зональная граница, разделяющая два биоклиматических пояса умеренных широт: бореальный (таежнолесной) и суббореальный (лесостепной и степной). По системе сформированных зональных границ исследуемая территория получила название «*бореального экотона*» [1].

Отметим тот факт, что ранее картографирование морфологической структуры ландшафтов на территории РТ практически не проводилось. Между тем для реализации экологического мониторинга, территориальных оценок и управления природопользованием необходимы сведения именно о морфологии ландшафтов в их классическом понимании: о фациях, урочищах, типах местностей. Только небольшому кругу специалистов известна мелкомасштабная рукописная карта восстановленных ландшафтов ТАССР (1 : 1 000 000), составленная еще в 80-х гг. прошлого века Н.Н. Лаптевой на основе почвенной карты. Есть также рукописная ландшафтная карта на регион Предволжья (масштаб 1 : 300 000) на уровне сложных урочищ (составители Н.Н. Лаптева и Н.Н. Чернышева).

К настоящему времени территория РТ покрыта рядом качественных тематических карт среднего масштаба. В их составе, в первую очередь, можно отметить почвенную, почвенно-эрозионную, механического состава, растительности (лесной и луговой), генетических типов рыхлых отложений, геологическую, электронную общегеографическую карты. Кроме того, есть материалы сканерных многозональных космических съемок среднего и высокого разрешения. Наличие этих материалов, с одной стороны, и практически полная неизученность морфологической структуры ландшафтов, с другой, а также накопленный количественный материал, скомпонованный нами в специализированную геоинформационную систему, позволили начать работу по изучению ландшафтов республики. При этом необходимо было решить следующий круг задач: 1) создание ландшафтной карты республики в масштабе 1 : 200 000; 2) проведение количественного анализа морфологической структуры ландшафтов; 3) определение экологического потенциала и геоэкологического состояния природно-территориальных комплексов.

1. Морфология ландшафтов

Осуществленное средствами искусственных нейронных сетей комплексное районирование позволило выделить на территории РТ две ландшафтные зоны (бореальная умеренно-континентальная, суббореальная северная семигумидная), четыре подзоны (южно-таежная, подтаежная, широколиственная, типичная и южная лесостепная) и 31 ландшафтный район [2]. В зависимости от условий рельефа районы отнесены либо к низменному, либо к возвышенному высотно-ярусному классу ландшафтов. Граница между бореальной и суббореальной зоной проведена с учетом распределения в буферной полосе шириной 50 км ведущих климато-ландшафтных показателей. Так, значение радиационного индекса сухости, выступающего в пределах умеренного пояса своеобразным индикатором оптимума «природной биологической продуктивности» [3], меняется от 0.95 до 1.2 при среднем значении 1.1. Сумма биологически активных температур лежит в интервале от 2086–2197°C при среднем значении 2142°C. Годовое количество осадков изменяется от 500 до 520 мм при среднем значении 510 мм. Годовой радиационный баланс варьирует от 1474 до 1674 мДж/м² (в среднем – 1574 мДж/м²). Гидротермический коэффициент находится в полосе значений от 1.57 до 1.77 (среднее – 1.67).

Мы полагаем, что на региональном уровне генерализации в качестве наиболее оптимально морфологической единицы картографирования и анализа

Табл. 1

Типизация морфологической структуры ландшафтов РТ (фрагмент)

<i>Класс</i> (генетические типы рыхлых отложений)	<i>Тип</i> (морфогенетические типы рельефа)	<i>Подтип</i> (почвенный покров)	Площадь, %
Делювиально-солифлюкционные	Водораздельный	Дерново-подзолистые	0.002
		Светло-серые лесные	0.001
		Серые лесные	0.013
		Темно-серые лесные	0.011
		Черноземы оподзоленные	0.001
		Черноземы выщелоченные	0.002
		Солодь лугово-болотная	0.002

должна выступать *местность* – переходная ступень от *урочища* к *ландшафту*. Она имеет четкую привязку геокомплекса к элементу рельефа, а также максимально отвечает принципу сомасштабности тех материалов, которые используются в качестве базовых при выделении природно-территориальных комплексов данного уровня генерализации. В созданной ландшафтной карте РТ (1 : 200 000) общее количество выделенных контуров составило 10 684. Такое большое количество выделов, сложность и разнообразие ландшафтного рисунка исследуемой территории требуют проведения классификации геокомплексов по сходным признакам. Нами все таксономические единицы в ранге типа местности подразделены на *классы, типы и подтипы*.

Типы местностей идентифицируются по их местоположению в рельефе, соответствуя той или иной морфогенетической группе рельефа. Всего выделено 11 типов местностей: 1) водораздельный; 2) водораздельные и верхние части склонов; 3) средние; 4) нижние части склонов; 5) высокие (3-я и 4-я) террасы малых рек; 6) низкие (1-я и 2-я) террасы малых рек; 7) четвертая терраса крупных рек; 8) третья терраса крупных рек; 9) первая и вторая террасы крупных рек; 10) склоны террас крупных рек, 11) пойменный.

Разделение на *подтипы местностей* произведено по характеру почвенного покрова на уровне подтипов, а объединение в *классы местностей* – по генетическим типам четвертичных отложений (табл. 1). На исследуемой территории выделено семь классов, одиннадцать типов и двадцать подтипов. Всего по такому принципу классифицировано 238 однородных типов местностей.

Преобладающим типом местности в республике являются средние части склонов – 36.8%. Ландшафты нижних частей склонов составляют 24.4%, водораздельные – 15%, террасовые типы местности – 10.7%, пойменные – 8.6%. (табл. 2). Меньше всего по занимаемой площади приходится на водораздельные местности – 4.2%. В структуре типов местности существуют некоторые различия по ландшафтным зонам. Так, в *бореальной ландшафтной зоне* площадь, занимаемая водоразделами, в 2 раза превышает площадь таких же типов местности суббореальной зоны. Наиболее вероятной причиной такого отличия является высокое горизонтальное расчленение, форма водоразделов и ступенчатый рельеф Бугульмино-Белебеевской возвышенности. В бореальной ландшафтной зоне преобладают светло-серые (43%), дерново-подзолистые (29%)

Табл. 2

Соотношение ландшафтов (по типам местности) в РТ

Тип местности	Площадь, %
Водораздельный	4.2
Приводораздельные части склонов	15.2
Средние части склонов	36.8
Нижние части склонов	24.4
Высокие террасы малых рек, третья и четвертая	0.6
Низкие террасы малых рек, первая и вторая	3.3
Четвертая терраса крупных рек	2.4
Третья терраса крупных рек	1.3
Первая и вторая террасы крупных рек	2.5
Склоны террас крупных рек	0.6
Пойменный	8.7

и серые лесные почвы (10%). Черноземы и почвы, развивающиеся при условии избыточного увлажнения, развиты крайне слабо. В пределах этой ландшафтной зоны естественная растительность сильно сведена. Общая лесистость здесь составляет 17.4%. В морфологической структуре ландшафтов доминируют типы местности средних частей склонов (35%); на нижние части склонов приходится 22.9%, на водораздельный тип – 6.5%, на пойменный – 10%. В спектре генетических типов четвертичных отложений выделяются аллювиальные (19%), элювиально-делювиальные (23%) и делювиально-солифлюкционные (55%), реже – эоловые отложения. Бореальная ландшафтная зона подразделяется на южно-таежную (2.4%) и подтаежную (97.5%) ландшафтную подзону.

Суббореальная северная семигумидная ландшафтная зона делится на широколиственную (24%) и лесостепную (75.8%) подзоны. В этой ландшафтной зоне преобладают черноземы выщелоченные (28%) и серые лесные почвы (10%). В морфологической структуре также господствуют средние (37.1%) и нижние части склонов (24%); меньше всего приходится на водораздельные типы местности (3.5%). Среди типов четвертичных отложений преобладают аллювиальные, элювиально-делювиальные и делювиально-солифлюкционные (17, 39 и 40% соответственно).

2. Рисунок ландшафта

Морфологические единицы разных порядков, образуя более или менее сложные территориальные сочетания, создают внутренний узор, или рисунок, ландшафта, который фиксируется на карте в виде многообразных комбинаций различных контуров. За внешним сходством морфологического рисунка часто скрываются принципиальные генетические и структурно-функциональные различия. Поэтому геометрический рисунок – это следствие генезиса системы, его внешнее проявление [4]. Анализ ландшафтных рисунков располагает многими приемами исследования количественных особенностей формы ландшафтных контуров, предложены десятки различных формул. Мы рассмотрим лишь самые распространенные в ландшафтных исследованиях. В первую очередь, это показатели формы, эллиптичности, удлиненности, расчлененности [5].

Оценивая различные типы местности по этим показателям, можно отметить следующее. Так, пойменный тип местности ландшафтов республики характеризуются наименьшими значениями *показателя формы*, он изменяется в пределах от 0.319 до 0.018 при среднем значении 0.088. Пойменные комплексы характеризуются вытянутостью относительно формирующих их водотоков. Наибольшие значения показателя формы наблюдаются у водоразделов. Водоразделы чаще представляют собой объекты округлой или слегка вытянутой формы, а значения показателя меняются от 0.406 до 0.053 (среднее – 0.259). Высокие значения показателя формы характерны для небольших по площади (0.5–0.6 км²) водораздельных типов местности Предволжья, междуречных пространств Казанки – Меши в Западном Предкамье, и Ст. Зай – Кичуй в Восточном Закамье. Низкие значения характерны как для больших (около 10 км²) водоразделов Ашит – Казанка, широкого водораздельного пространства Меша – Берсут – Шумбут в Западном Предкамье, так и для всего Предкамья в целом. Определяющую роль здесь играет генезис и условия расчленения рельефа. При небольшом вертикальном расчленении, низменном рельефе и слабо выраженной ярусности возвышенного рельефа наблюдаются большие по площади, вытянутой формы (часто дендритообразные за счет их размещения на поперечных междуречьях) водораздельные типы местности. И, наоборот, там, где есть значительный перепад высот, четко выражены ступени поверхностей выравнивания, а истоки верхних звеньев гидросети подходят непосредственно к самим водоразделам, формируются небольшие по площади, водораздельные типы местности округлой формы, дискретно располагающиеся вдоль главных междуречий. От порядка водотока и от плотности гидросети форма контура зависит слабо.

Показатель эллиптичности по характеру изменения значений имеет почти обратную картину с показателем формы. Так, его высокие значения характерны для долинных комплексов. Их форма стремится к эллипсу, вытянутому по общей оси направления долины. Значения показателя эллиптичности закономерно изменяются в бассейновых геосистемах. Свойства анизотропности четко проявляются в них через парагенетически связанные между собой типы местности: водораздел – приводораздельные поверхности – средняя – нижняя часть склона – терраса – пойма. Именно в этой же последовательности увеличивается показатель эллиптичности. Чем ниже по склону бассейновой катены, тем более контур приближается к эллипсу. Значения показателя меняются для водораздельных типов местности в пределах от 1.9 до 14.0 при среднем значении 3.4 (в интервале 1.9–4.5 лежит 85% значений). Для пойм значения меняются от 2.4 до 43.7 при среднем значении 13.7 (в интервале 5–27 находится 78% всех значений).

Показатель вытянутости использует соотношения длины наибольшей оси фигуры и площади. Этот показатель принимает высокие значения при большой площади контура и малом значении наибольшей оси фигуры. Высокие значения (в среднем 0.284) показателя вытянутости характерны для водораздельных и террасовых типов местностей (для них среднее значение 0.25). Для террасовых типов местностей высокие значения объясняются не столько их генезисом, сколько характером денудации данных комплексов после окончания формирования террас. Молодые террасы первоначально обладают сильно вытянутой формой, повторяющей в сглаженном виде конфигурацию водотока и его русловые пе-

реформирования на пойме. В последующем данные геоконплексы формируются уже под воздействием процессов денудации, главным из которых в регионе является склоновая эрозия. Сначала уступы, а затем и часть площадок старых террас расчленяются и фрагментируются в геопространстве овражно-балочной сетью, создающей свой особый комплекс урочищ. А в тыловом шве активно идут процессы аккумуляции, приводящие к тому, что граница между вышерасположенной террасой и склоном долины становится маловыразительной. Следствием этого диалектически единого денудационно-аккумулятивного процесса является расчленение поверхности террасового типа местности, которая в плане приобретает характерный дискретно-полосчатый рисунок, свидетельствующий о солидном возрасте этих геоконплексов и сложном характере формирования.

Для водораздельных ландшафтов высокое значение показателя вытянутости говорит об их устойчивости. И чем больше ширина этих типов местности, тем большей устойчивостью они обладают. Определяющим фактором устойчивости этих геоконплексов является морфометрия и порядок водораздельных пространств. Субгоризонтальные участки междуречий препятствуют возникновению поверхностного стока даже на поперечных водоразделах. Рассредоточение поверхностного стока за счет кулисообразной формы стекания воды вдоль водораздельной линии является мощным ограничительным фактором перерасчленения водоразделов. Именно поэтому здесь возникают непрерывные геоконплексы, часто имеющие в плане дендритовидную форму.

Порядок долин и форма водораздельных типов местности связаны следующей зависимостью: чем ниже порядок гидросети (включая временную), тем больше перерасчленение междуречий и, как следствие, меньшая вытянутость водораздельных ландшафтов. Склоновые типы местности (в том числе и склоны крупных террас) в среднем имеют значение вытянутости 0.22–0.24. Их форма зависит как от спектра процессов денудации, так и от длины склона. Усложнение рисунка на склоновых типах местности, в первую очередь, связано с эрозией временных водотоков. На это также указывают и экстремально высокие показатели расчлененности. Показатель расчлененности (отношение периметра к площади контура) показывает, как форма контура усложнена всевозможными выступами и лучами. Отметим, что средние и нижние части склонов наравне с поймами обладают более сложной лучеподобной структурой по сравнению с другими типами местностей. Такой рисунок обуславливается характером рельефообразующих процессов на склонах и днищах долин.

Индекс кругообразности показывает, насколько форма объекта стремится к форме круга. Наибольшим сходством с кругом обладает форма водоразделов, среднее значение показателя кругообразности – 0.66, наименьшим – поймы (среднее – 0.163). Чаще всего максимально приближены к форме круга типы местности с седловинной формой водоразделов. Склоновые типы местности так же, как и пойменные, характеризуются низкими значениями коэффициента кругообразности: 0.34–0.39. На комплексах древних террас значения кругообразности вновь увеличиваются до 0.45–0.50 за счет широких террасовых площадок, которые по своей морфометрии в ослабленном виде повторяют водораздельные пространства. Поэтому определяющим здесь является не генезис формы, а ее морфометрия.

Для идентификации границ ландшафтных зон и подзон также использовались показатели рисунка ландшафта. В частности, такой интегральный показатель, как *индекс дробности*, равный отношению количества ландшафтных контуров (n) к общей площади ландшафтного района (S). Чем ниже значения коэффициента, тем более простой ландшафтный рисунок. В нашем случае ландшафтные районы, находящиеся в пределах смены одной ландшафтной зоны в другую, имеют четкие различия по показателю дробности. А в качестве барьерных (дискретных) границ между ландшафтными подзонами выступают крупные реки: Кама и Волга.

Еще один интегральный показатель, характеризующий ландшафтные особенности территории, – это *коэффициент неоднородности* (K_n):

$$K_n = \frac{m}{m-1} \left[1 - \sum_{i=1}^m \left(\frac{S_i}{S} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где S_i – площадь занимаемая i -м классом; S – исследуемая площадь; m – количество классов.

Этот показатель отличается от энтропийной меры сложности рисунка учетом количества классов, а не их удельных площадей, и изменяется от 0 до 1. Чем выше значение, тем неоднороднее территория. Для бореальной ландшафтной зоны РТ этот показатель равен 0.987, а для суббореальной – 0.997. Таким образом, эти высокие значения энтропийной меры сложности характеризуют ландшафтную структуру территории как крайне неоднородную, а возраст ландшафтов по этому косвенному показателю определяется как старый.

3. Геоэкология ландшафтов

Следующим шагом ландшафтного анализа было определение антропогенной нагрузки на геокомплексы с созданием соответствующей тематической карты. В качестве операционных единиц анализа также использовались типы местностей (табл. 3). Учитывая большое количество полученных геокомплексов, произведенная оценка может дать хорошую пространственную дифференциацию антропогенных нагрузок на данной территории. В качестве критериев антропогенной нагрузки выбраны показатели, характеризующие различные функциональные типы использования территории (селитебный, коммуникативный, сельскохозяйственный, лесохозяйственный), а также отражающие последствия антропогенного воздействия (комплексный индекс загрязнения атмосферы, материалы о состоянии растительного покрова). Для проведения корректной оценки необходимо также учитывать площади оцениваемых геокомплексов. С этой целью площадные показатели переводились в проценты от площади ландшафтов, линейные – представлены в виде густоты ($\text{км}/\text{км}^2$). Работа проведена с использованием методов ГИС-технологий и электронной картографии по созданной ландшафтной карте в векторном формате. Обработка данных проводилась в ГИС-системе MapInfo.

Для подсчета количественных характеристик антропогенной нагрузки использовались тематические слои населенных пунктов, транспортной сети (включая нефтепромысловую сеть), лесных формаций, динамики лесов за последние

Табл. 3

Распределение антропогенной нагрузки по типам местностей в РТ

Типы местности	Минимальный балл	Максимальный балл
Водораздельный	5.0	19.0
Приводораздельные части склонов	5.0	16.6
Средние части склонов	6.5	18.0
Нижние части склонов	6.2	19.2
Высокие террасы малых рек (3 и 4)	7.1	15.7
Низкие террасы малых рек (1 и 2)	6.0	16.0
4-я терраса крупных рек	6.5	14.7
3-я терраса крупных рек	7.3	14.2
1-я и 2-я террасы крупных рек	6.8	20.0
Склоны террас крупных рек	6.6	15.7
Пойменный	9.2	17.5

200 лет, луговой растительности. Кроме показателей антропогенной нагрузки, было учтено местоположение ландшафтных выделов, а именно восприимчивость к оказываемому воздействию. Бралось во внимание то, что увеличение антропогенного воздействия, оказываемое в различных парагенетических звеньях бассейновых геосистем (водораздел – склон – пойма), может активизировать экологически неблагоприятные экодинамические процессы, а также повлиять на потоки вещества и энергии в ландшафтах. В этом смысле наиболее устойчивыми к нагрузкам являются водораздельные типы местности, наименее – пойменные. Для каждого типа местности с соответствующего тематического слоя, характеризующего антропогенную нагрузку, при помощи SQL запросов была сформирована тематическая геопространственная база данных.

В качестве метода оценки выбрана линейная оценка следующего вида:

$$U = a_1R_1 + a_2R_2 + \dots + a_iR_i, \quad (2)$$

где a_i – весовой коэффициент; R_i – нормированное значение показателя.

Каждой функциональной группе использования земель экспертно присваивался балл (от 1 до 5), возрастающий по мере увеличения степени хозяйственного воздействия. После нормирования параметров дальнейшая задача состояла в выборе весовых коэффициентов, вес каждого параметра пропорционален его важности.

На полученной интегральной карте антропогенных нагрузок на типы местностей РТ четко выделяются три региона с сильными и очень сильными нагрузками: Восточное Закамье, Предкамье и центральная часть Предволжья. Минимальные нагрузки на ландшафты оказываются в Западном Закамье и на юго-западе республики. Ареалы с максимальной антропогенной нагрузкой закономерно приурочены к наиболее урбанизированным территориям (гг. Казань, Нижнекамск, Наб. Челны, Альметьевск, Елабуга).

Особенно выделяется юго-восток республики, где на фоне высоких сельскохозяйственных нагрузок длительное время действует крупный нефтегазодобывающий комплекс, проходит множество транспортных артерий самого разного

назначения. Также юго-восток РТ характеризуется самым возвышенным рельефом. Для него характерно наличие узких водораздельных пространств и ступенчатых, относительно коротких и крутых склонов, что также способствует уменьшению устойчивости ландшафтов к антропогенным нагрузкам. В совокупности с интенсивной вырубкой лесов за агрикультурный период это дает максимальный балл антропогенных нагрузок. Слабые антропогенные нагрузки характерны для ландшафтов Западного Закамья. Здесь, с одной стороны, низкая плотность дорожной сети, отсутствуют городские поселения, слабое воздействие нефтегазового комплекса, а с другой – благоприятное соотношение типов местности, часть которых имеет высокую лесистость. Общий уровень антропогенного воздействия оценивается как достаточно высокий и создается главным образом за счет деятельности агропромышленного комплекса. В этих условиях большое значение приобретает деятельность, направленная на снижение и предотвращение негативного влияния на окружающую среду, сохранение и рациональное использование природных ресурсов.

Summary

O.P. Yermolaev, M.E. Igonin. Morphology, picture and geocology of the Tatarstan's landscapes.

The article contains the key results of the regional level of generalization of Tatarstan Republic's landscape mapping. Besides, the avenues for the landscape classification are formed. It is the first time when for this region is given the results of quantitative analysis of the morphological structure, picture and the geocological impact of a landscape, driven by means of GIS-technologies.

Литература

1. *Коломыц Э.Г.* Полиморфизм ландшафтно-зональных систем. – Пущино: ОНТИ ПИЦ РАН, 1998. – 311 с.
2. *Ермолаев О.П.* Эрозия в бассейновых геосистемах. – Казань: УНИПРЕСС, 2002. – 264 с.
3. *Будыко М.И.* Климат и жизнь. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 472 с.
4. *Викторов А.С.* Математическая морфология ландшафта. – М.: Тратек, 1998. – 180 с.
5. *Ермолаев О.П., Мальцев К.А., Игонин М.Е.* Геоинформационный анализ ландшафтного рисунка в бореальном экотоне Среднего Поволжья // Интеркарто-9: ГИС для устойчивого развития территорий: Материалы междунар. конф., Севастополь – Новороссийск, 25–29 июня 2003 г. – С. 114–118.

Поступила в редакцию
12.09.07

Ермолаев Олег Петрович – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой ландшафтной экологии Казанского государственного университета.

E-mail: Oleg.Yermolaev@ksu.ru

Игонин Михаил Евгеньевич – инженер кафедры ландшафтной экологии Казанского государственного университета.

E-mail: migonin@mail.ru