

АНАЛИЗ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ СУХОПУТНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ РЕГИОНОВ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

© 2019 г. С. А. Тархов^{1,2}

¹ Институт географии РАН

² Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Москва, Россия

e-mail: tram.tarkhov@gmail.com

Проанализирован уровень топологической сложности сухопутных транспортных сетей (включая автодороги, железные дороги и автозимники) 27 регионов Сибири и Дальнего Востока по вариации значений 16 их топоморфометрических параметров. Выявлены основные типы топологических дефектов структуры региональных сухопутных транспортных сетей: пространственная изолированность (разорванность), повышенный уровень дендритности (разветвленности), наличие нескольких циклических остовов и изолированных циклических элементов, многоядерность топологических ярусов циклических остовов. Наивысшей степенью изолированности отличаются транспортные сети Камчатского края, Чукотского автономного округа, Хабаровского края и Томской области. Самый высокий уровень дендритности сети автодорог имеют Республика Алтай, Камчатский край, Ямало-Ненецкий автономный округ, республики Тыва и Бурятия, Еврейская АО, остров Сахалин, а также главный циклический остов сети автозимников Чукотского автономного округа. Многоостовность характерна для транспортной сети Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов, Кемеровской области, Хабаровского края и Бурятии. Многоочаговость 2-го топологического яруса циклического остова – отличительная черта сухопутных транспортных сетей юга Красноярского края, Иркутской области, Республики Якутия, Кемеровской и Новосибирской областей; 3-го топологического яруса – сети дорог Алтайского края. По уровню пространственной надежности (уязвимости) топологической структуры выделены следующие типы региональных транспортных сетей: наиболее надежные (неуязвимые; к этому типу относятся 4 региона), высоко надежные (8), средне надежные (5), сильно уязвимые с низким уровнем пространственной надежности (5), наиболее уязвимые сети с минимальным уровнем пространственной надежности (5 регионов).

Ключевые слова: транспортная сеть, топологические дефекты, циклический остов, Сибирь, Дальний Восток.

DOI: 10.5922/1994-5280-2019-3-5

Введение и постановка проблемы.

Транспортная освоенность территории – характер вовлеченности территории в человеческую деятельность посредством транспорта и транспортной сети. Она отображается конфигурацией проникновения и пространственного обслуживания транспортным сообщением определенной территории. Важнейшим ее элементом является пространственная надежность структуры транспортной сети. Изучение последней де-факто сводится к анализу уровня сложности ее топологической структуры и выявлению в ней диспропорций, называемых топологическими дефектами [9, 10].

В целях изучения транспортной освоенности территории Сибири и Дальнего Востока нами была проанализирована топологическая структура сухопутной транспортной сети каждого из 27 их регионов. Анализиро-

валась совокупная (интегральная) сеть автодорог и железных дорог этих территорий.

Задачами исследования стали: 1) выявление основных топологических дефектов в их структуре; 2) типизация регионов Азиатской России по степени пространственной надежности (уязвимости) топологической структуры.

Обзор ранее выполненных исследований. Географическому изучению транспортной освоенности территории посвящено незначительное число работ. Среди них выделяются работы Н.А. Каючкина [4] и А.А. Сысоева [8].

Важнейшая составляющая транспортной освоенности – пространственный рисунок сухопутной транспортной сети. Особенности этого рисунка в моделях теоретической географии тщательно проанализированы Б.Б. Родоманом [5, 6].

Тип сложности топологической структуры транспортной сети во многом влияет на уровень и характер транспортной освоенности территории. Анализ топологической структуры транспортных сетей посвящена обширная литература (см. библиографический указатель в одной из работ автора [10]). Важнейшие работы в этом направлении проведены К. Канским [14], П. Хаггетом и Р. Чорли [11, 13], а также Р. Боном [12] и К. Леусманном [15], а в отечественной географии – В.Н. Бугроменко [3].

Понятие «топологический дефект транспортной сети» предложено автором настоящей статьи в 1983 г. [9]. Типы таких дефектов описаны и проанализированы в монографии автора [10].

Материалы и методика исследования. Источниками информации о пространственной структуре транспортной сети послужили атласы автодорог России [1, 2, 7], общегеографические и административные карты областей, краев, республик, изданные местными и федеральными органами власти в 2000–2010-е гг.

Для сопоставимости в качестве отдельных регионов рассматривались Ямало-Ненецкий АО, Ханты-Мансийский АО, юг Тюменской области; на территории Красноярского края выделены в качестве самостоятельных единиц бывшие Таймырский Долгано-Ненецкий АО и Эвенкийский АО, а также отдельно юг Красноярского края; в Сахалинской области изучалась лишь дорожная сеть острова Сахалин, поскольку на Курильских островах она представлена лишь немногочисленными короткими линейными элементами. В анализ включена Курганская область, которая, хотя и входит в состав Уральского экономического района, но по природным условиям и ЭГП может быть отнесена к Сибири.

При изучении пространственной структуры сети автомобильных дорог учтены все дороги, показанные в трех разных атласах дорог России, опубликованных недавно тремя разными издательствами (информация там приводится на 2017–2018 гг.). Для регионов Крайнего Севера к сети автодорог добавлялись линии железных дорог (они выполняют очень важную консолидирующую роль для территории и ее поселений) и автозимники, поскольку на этой неосвоенной или слабо освоенной территории они играют крайне важную коммуникационную роль. Если же-

лезная дорога следует параллельно автодороге, то они объединялись в одну линию (ребро на языке теории графов); если железная и автомобильная дорога, идущие из одного населенного пункта в другой, сильно расходятся и удаляются друг от друга, то они рассматривались как разные линии (разные ребра графа). Таким образом, анализировалась не отдельно сеть автодорог и сеть железных дорог, а совмещенная (интегральная) сухопутная транспортная сеть каждого региона.

Сухопутная транспортная сеть всех регионов была преобразована в граф по ранее предложенной нами методике [10]. Ключевыми понятиями теории графов являются вершина, ребро, цикл, автономный компонент. Места, в которых дороги разветвляются, сходятся, заканчиваются, начинаются или пересекаются, называются вершинами; участки дорог между такими точками – ребрами. Совокупность ребер, образующих замкнутый контур, называется циклом. Циклы естественным образом группируются в сплошные массивы и образуют циклические остовы. Если скопление циклов обширно по размерам, то внутри него выделяются от внешней границы концентрические кольцеобразные полосы, которые называются топологическими ярусами (число таких ярусов в транспортных сетях изученных регионов достигало трех, но преобладали сети всего лишь с одним топологическим ярусом). Участки транспортной сети, которые не входят в состав циклов и циклических остовов, называются дендритами (древовидными частями сети). Части транспортной сети, которые не связаны с остальной сетью (не имеют соединения с ней), называются автономными компонентами. При выделении циклов в графе отдельные его ребра могли быть участками железных и автомобильных дорог или их совмещения, если эти дороги параллельны.

Полученные результаты и их обсуждение. Транспортная сеть каждого из 27 регионов Сибири и Дальнего Востока была перенесена на карту, на которой разными цветами были выделены циклы, циклические остовы, дендриты, автономные компоненты. После этого были рассчитаны количественные топоморфометрические параметры сухопутной транспортной сети каждого региона. Их значения по каждому региону представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Значения основных топоморфометрических показателей пространственной структуры наземных сухопутных сетей регионов Сибири и Дальнего Востока России*

Регион	Число побочных АК	Число цикл. остовов	Число циклов во всей сети	Число циклов в главном циклическом остове	Число циклов в 1-м топологическом ярусе главного остова	Число циклов в 2-м топ. ярусе главного остова	Число циклов в 3-м топологическом ярусе главного остова	Число циклов в побочных цикл. остовах	Число изолированных циклов
Алтайский край	–	1	100	100	55	33	12	–	–
Амурская область	–	1	82	82	68	14	–	–	–
Омская область	–	1	80	80	42	34	4	–	–
Республика Якутия	2	3	78	63	43	19	1	11+3	1
Забайкальский край	1	1	76	75	56	19	–	–	1
Приморский край	–	1	74	66	51	14	1	8	–
Новосибирская область	1	1	73	73	51	22	–	–	–
Красноярский край, юг	3	2	68	59	43	16	–	7	2
Иркутская область	3	1	63	62	43	19	–	–	1
Кемеровская область	–	2	57	35	31	4	–	21	1
Тюменская область, юг	–	1	51	51	29	22	–	–	–
Курганская область	–	1	42	42	28	14	–	–	–
Ханты-Мансийский АО	2	5	37	15	13	2	–	5+2+3+9	3
Республика Бурятия	1	3	36	26	20	6	–	7+2	1
Хабаровский край	10	3	28	18	18	–	–	3+4	3
Томская область	7	1	27	27	23	4	–	–	–
Республика Хакасия	1	1	24	21	20	1	–	–	3
Магаданская область	–	1	20	16	14	2	–	–	4
Ямало-Ненецкий АО	5	2	15	9	9	–	–	5	1
б. Долгано-Ненецкий АО	–	1	12	12	12	–	–	–	–
Еврейская АО	–	2	10	6	6	–	–	3	1
Республика Тыва	–	1	10	10	10	–	–	–	–
о. Сахалин	1	1	9	9	8	1	–	–	–
Чукотский АО	5	1	5	5	5	–	–	–	–
Республика Алтай	–	1	2	2	2	–	–	–	–
Камчатский край	5	–	1	–	–	–	–	–	1
б. Эвенкийский АО	–	–	–	–	–	–	–	–	–

* Регионы упорядочены по убыванию числа циклов во всей транспортной сети. АК – автономные компоненты сети. Источник: рассчитано автором.

При изучении особенностей пространственной структуры сухопутных транспортных сетей анализировались значения следующих топоморфометрических параметров: число изолированных (автономных) компонентов (при этом главная часть транспортной сети не считалась изолированной), пространственный размер таких компонентов (число ребер в элементах, изолированных от основной части сети), число циклических остовов в транспортной сети (большой по числу циклов и топологических ярусов остов называется главным; тот остов, где

такое число меньше, – побочным), число циклов во всей транспортной сети, число циклов в главном циклическом остове, число циклов в каждом топологическом ярусе главного циклического остова, число циклов в побочных циклических остовах, число отдельно отстоящих от циклических остовов циклов (см. табл. 1).

Затем была рассчитана топологическая протяженность (число ребер в графе) трех разных морфологических составляющих каждой сети (см. табл. 2): дендритной (Ed), циклической (Ec), автономных компонентов

Таблица 2. Значения топологической протяженности (числа ребер) отдельных топоморфологических элементов и их доли у наземных сухопутных сетей регионов Сибири и Дальнего Востока России*

Регион	Ed	Ec	Ec+Ed	Ec / Ec + Ed	E = Ec + Ed + Eак	Ed + Ec / E	Eак
Алтайский край	42	235	277	0,85	277	1,00	–
Амурская область	45	196	241	0,81	241	1,00	–
Омская область	83	191	274	0,70	274	1,00	–
Республика Якутия	101	250	351	0,71	353	0,99	2
Забайкальский край	52	222	274	0,81	275	0,997	1
Приморский край	58	204	262	0,78	262	1,00	–
Новосибирская область	67	190	257	0,74	258	0,99	1
Красноярский край, юг	96	189	285	0,66	290	0,98	5
Иркутская область	108	195	303	0,64	314	0,96	11
Кемеровская область	36	134	170	0,79	170	1,00	–
Тюменская область, юг	44	123	167	0,74	167	1,00	–
Курганская область	40	106	146	0,73	146	1,00	–
Ханты-Мансийский АО	46	116	162	0,72	164	0,99	2
Республика Бурятия	51+7	74+5	137	0,58	137	1,00	12
Хабаровский край	77	73	150	0,49	168	0,89	18
Томская область	36	86	122	0,70	132	0,92	10
Республика Хакасия	23	54	77	0,70	78	0,99	1
Магаданская область	28	63	91	0,69	91	1,00	–
Ямало-Ненецкий АО	36	43	79	0,54	89	0,89	10
б. Долгано-Ненецкий АО	11	29	40	0,72	40	1,00	–
Еврейская АО	20	30	50	0,60	50	1,00	–
Республика Тыва	29	38	67	0,57	67	1,00	–
о. Сахалин	16	27	43	0,63	44	0,99	1
Чукотский АО	18	21	39	0,54	60	0,65	21
Республика Алтай	26	7	33	0,21	33	1,00	–
Камчатский край	17	8	25	0,32	40	0,63	15
б. Эвенкийский АО	5	–	5	–	5	1,00	–

* Регионы упорядочены по убыванию числа циклов во всей транспортной сети. Ed – число ребер в дендритной части сети, Ec – число ребер в циклической части сети, Eак – число ребер в автономных компонентах сети. Источник: рассчитано автором.

(Eак), а также относительные показатели – степень цикличности сети ($E_c / E_c + E_d$; показывает, какая доля протяженности транспортной сети приходится на циклы) и степень автономности ее элементов ($E_d + E_c / E$, где $E = E_c + E_d + E_{ак}$; показывает, какая доля протяженности сети приходится на изолированные и неизолированные ее части).

Анализ топологической структуры каждой региональной транспортной сети (с учетом значений топоморфометрических параметров) позволил выявить следующие типы топологических дефектов этих сетей.

1. Пространственная изолированность и разорванность. В ряде регионов Сибири и Дальнего Востока наряду с основной транспортной сетью есть несколько изолированных от нее локальных и очаговых транспорт-

ных сетей. Обычно это сеть автозимников или отдельные автозимники, иногда грунтовые дороги или автодороги с твердым покрытием.

Наивысшей степенью изолированности отличаются транспортные сети Камчатского края, Чукотского АО, Хабаровского края и Томской области (доля протяженности сети этих изолированных элементов в общей топологической протяженности всей сети автодорог; протяженность рассчитывалась как число ребер графа, а не в километрах).

На территории Камчатского края существуют пять локальных изолированных сетей (их центры – Паужетка, Оссора, Корф, Манилы, Пахачи), которые никак не связаны с главной сетью автодорог Камчатского полуострова, вытянутой по оси Петропав-

ловск-Камчатский – Мильково – Ключи – Усть-Камчатск.

В Чукотском автономном округе главная сеть автозимников охватывает северную и западную части по оси Эгвекинот – Мыс Шмидта – Комсомольский – Билибино – Аннойск. Совершенно не связаны с ней пять изолированных дорожных подсистем (Марково – Анадырь, Беринговский – Хатырка, Сирепики – Энмелен, Лаврентия – Уэлен – Нешкан, Провидения – Янракинот).

На территории Хабаровского края есть 10 таких изолированных участков. Самый обширный расположен на севере – это автозимник Тугур – Тором – Чумикан – Удское – Аян – Нелькан – Аим. Его протяженность в километрах, по всей видимости (статистические данные отсутствуют), самая большая в стране. Остальные размерами меньше – в районе Николаевска-на-Амуре (до поселений Озерпах, Власьево, Многовершинный, Орель-Чля), Томское – Догордон – Талакан (на юго-западе края), а также короткие участки дорог (Киселевка – Агни-Афанасьевск, Оглончи – Херпучи, Сусанино – Аннинские Минеральные Воды, Вострцево – Новое Устье, Охотск – Резиденция, Новая Иня – Сельхозферма). Эти изолированные дороги расположены преимущественно в северной части края, территория которой не освоена в хозяйственном отношении.

На окраинах Томской области, где много болот и непроходимая тайга, существуют семь изолированных локальных дорожных элементов (Могочин – Игреково, Кузурово – Куролино, Север – Копыловка, Нарым – Березовка, Новый Тевриз – Средний Васюган, Стрежевой, Александровское – Катъльга – Новый Васюган), которые выходят к пристаням рек Обь и Кеть. Последняя дорога проходит через Васюганские болота вдоль западной границы области и следует с юга, из Новосибирской области, на север к Стрежевому, где через р. Обь летом действует паромная переправа, а зимой – автозимник по льду.

Изолированные от основной дорожной сети региона автодорожные подсистемы существуют также в Ямало-Ненецком АО (Казым-Мыс, Яр-Сале – Новый Порт, Сидоровск, Толька – Ратта), Иркутской области (Тетя – Ербогачен – Инаригда, Горно-Чуйский – Мама, Перевоз – Артемовский – Бодайбо – Мамакан), Якутии (Сиктях – Усть-

Оленёк, железнодорожная линия от БАМа до Эльгинского угольного месторождения на крайнем юго-востоке республики), на юге Красноярского края (Кежма – Паново, Ванавара, Иркенево – Беляки). Значительный по размерам автономный (изолированный) компонент располагается в Тункинской котловине на западе Бурятии (в нем есть два цикла), куда с основной территории республики можно попасть только по дорогам, идущим через территорию Иркутской области.

Главная особенность этого топологического дефекта структуры транспортных сетей – разорванность на изолированные части, между которыми невозможно сухопутное сообщение. Этот дефект не устраним, поскольку сооружение новых сухопутных дорог, которые соединили бы изолированные части друг с другом, слишком дорого, да и не нужно. Транспортное сообщение между изолированными подсистемами можно поддерживать с помощью воздушного, а летом – еще и водного транспорта, если реки судоходны.

2. Повышенный уровень ветвистости (дендритности) сети характерен далеко не для всех регионов Сибири и Дальнего Востока. Самый высокий уровень дендритности сети имеют Республика Алтай (79% всей топологической протяженности сети приходится на ветви, а не циклические, то есть замкнутые элементы), Камчатский край (68%), Ямало-Ненецкий округ (46%), главный циклический остов сети автозимников Чукотского округа (46%), транспортные сети республик Тыва (43%) и Бурятия (42%), Еврейская АО (40%), о. Сахалин (37%).

В Республике Алтай почти вся дорожная сеть, за исключением небольшого циклического остова на северо-западе, представляет собой сильно разветвленное дерево, включая главный его ствол – Чуйский тракт. На Камчатке значительная часть транспортной сети – дендриты, т.е. участки дорог без замкнутых контуров. Большинство автономных компонентов (изолированных дорожных подсистем) почти во всех регионах Сибири и Дальнего Востока также имеют древовидную структуру; среди них самые обширные по своим размерам – на севере Хабаровского края, в Чукотском автономном округе, на северо-востоке и севере Иркутской области.

Главная особенность этого дефекта топологической структуры состоит в том, что при

выходе из строя одного ее элемента (дороги, моста) она сразу же распадается (разрывается) на изолированные части. Поэтому для его устранения необходимо строительство параллельных дорог.

3. Многоостовность (наличие нескольких циклических остовов в одной сети). Этот топологический дефект есть далеко не у всех транспортных сетей регионов Сибири и Дальнего Востока. В Ханты-Мансийском автономном округе из-за его широтной вытянутости и наличия нескольких ядер освоения вдоль Оби сформировалось пять циклических остовов. Самый обширный из них (главный на языке теории графов; Сургут – Нижневартовск – Радужный – Когалым – Нумто – Лянтор) имеет внутри себя даже два топологических яруса и 15 циклов (из 37 во всей транспортной сети ХМАО). Есть также побочные остовы поменьше – вокруг Нефтеюганска (пять циклов) и Урая (два цикла), а также петлевой остов Нягань – Советский – Югорск – Хулимсунт – Березово – Ломбовож – Усть-Манья на западе. Для устранения этого весьма серьезного структурного дефекта необходимо сооружение параллельных дорог для объединения всех этих локальных циклических остовов в один общерегиональный.

В соседнем Ямало-Ненецком автономном округе двум главным очагам освоения нефтегазовых месторождений соответствуют свои два циклических остова – на севере (Новый Уренгой – Пангоды – Ямбург – Газсале – Уренгой с девятью циклами) и юге (Вынгапуровский – Ноябрьск – Муравленко – Губкинский; с пятью циклами). Необходима постройка параллельной дороги для связи циклических остовов. Это значительно повысит уровень надежности этой транспортной сети.

В Кемеровской области сложился особый подвид многоостовности – два циклических остова сходятся в Белово (в теории графов это называется вершиной сочленения). Это самое уязвимое место в графе – при выходе из строя такого узла вся транспортная сеть распадается на две изолированные подсистемы – северную (тяготеет к Кемерово) и южную (тяготеет к Новокузнецку). Поэтому сооружение параллельной дороги в обход Белово увеличит уровень топологической надежности дорожной сети этого региона. В 2019 г. эта дорога сдана в эксплуатацию.

В Хабаровском крае циклические остовы по сравнению с другими регионами Сибири и Дальнего Востока небольшие. Самый крупный из них вокруг Хабаровска крайне невелик (всего 18 циклов), второй побочный остов узкой полосой вытянут от Советской Гавани через Ванино до Датта (четыре цикла), третий расположен в районе Селихино (три цикла). Их незначительные размеры объясняются просто: по территории соседней Еврейской АО проходит железная дорога Волочаевка (чуть западнее Хабаровска) – Комсомольск-на-Амуре, связывающая эти два крупнейших города края, и эта ее часть находится не в Хабаровском крае, поэтому обширный цикл от Хабаровска до Комсомольска не образовался. Если бы территория Еврейской АО была частью Хабаровского края, как до 1991 г., то уровень топологической сложности его транспортной сети был бы значительно выше.

В Бурятии побочный циклический остов охватывает Баргузинскую долину и не столь значителен по своим размерам, а небольшой циклический остов в Тункинской котловине (на крайнем западе республики) по сравнению даже с Баргузинским слишком мал.

В Якутии и Красноярском крае побочные циклические остовы незначительны по своим размерам: в первой это – два небольших остова (в районе Среднеколымска на крайнем северо-востоке с тремя циклами; на юге в районе Нерюнгри – Томмота с 11 циклами); в Красноярском крае – Минусинский побочный остов на крайнем юге с семью циклами.

Основной недостаток здесь – наличие единственной соединительной линии между соседними побочными остовами и главным циклическим остовом. При выходе из строя хотя бы одного такого соединительного элемента целостность транспортной сети нарушается, и она распадается на изолированные, несвязанные друг с другом части. Для устранения этого структурного дефекта в сети необходимо строительство параллельных обходных транспортных линий.

4. Наличие изолированных циклических элементов (островов) свидетельствует о мелкоочаговости хозяйственной освоенности территории. Внутри каждого очага формируются замкнутые дорожные сети в виде единичных циклов. Это явление характерно только для половины регионов Сибири и Дальнего Востока. Больше всего

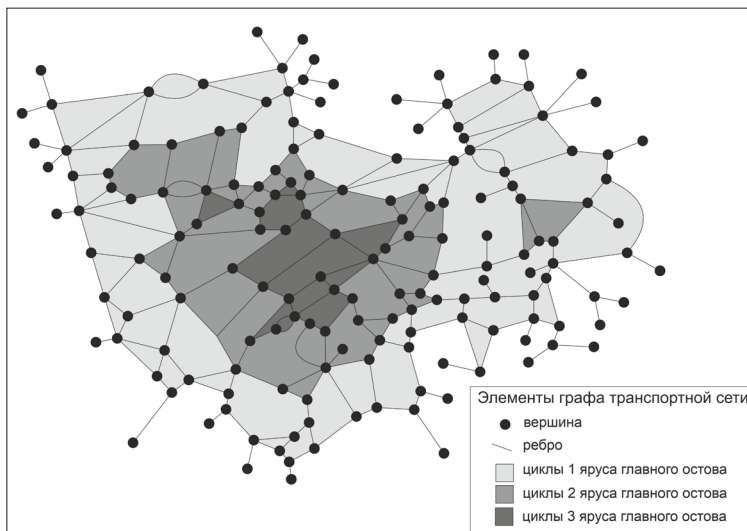


Рис. 1. Граф транспортной сети Алтайского края

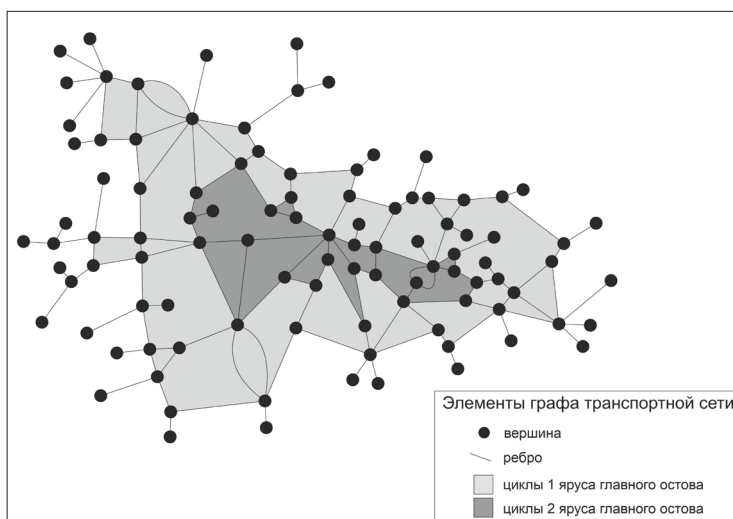


Рис. 2. Граф транспортной сети Курганской области

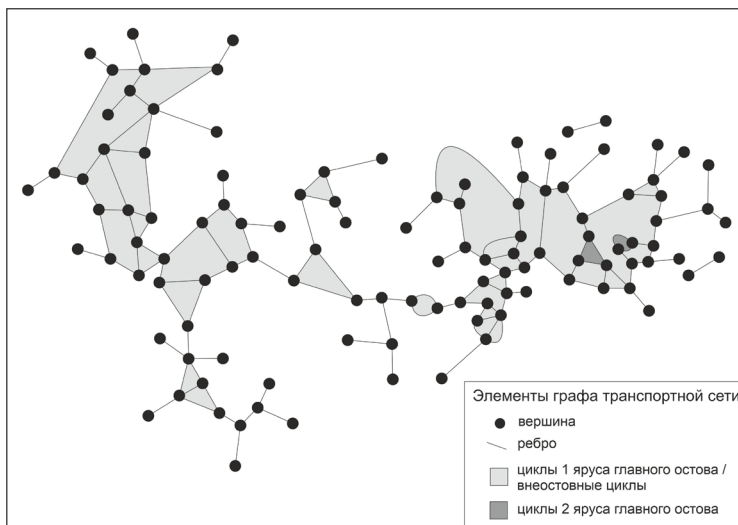


Рис. 3. Граф транспортной сети Ханты-Мансийского АО

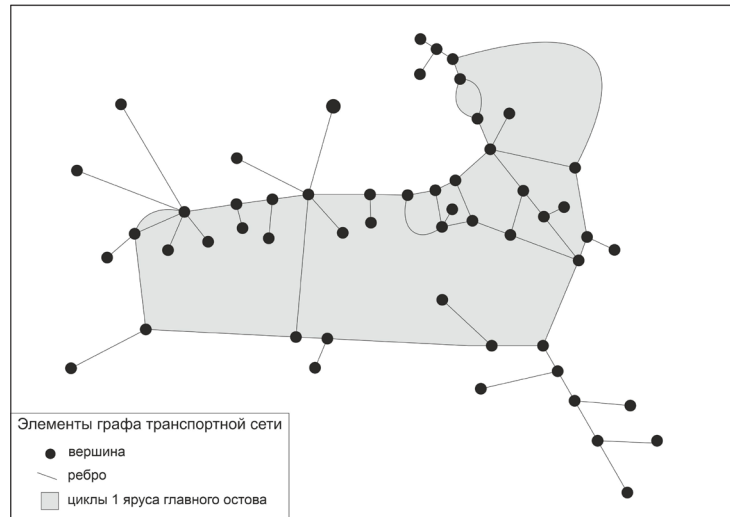


Рис. 4. Граф транспортной сети Республики Тыва

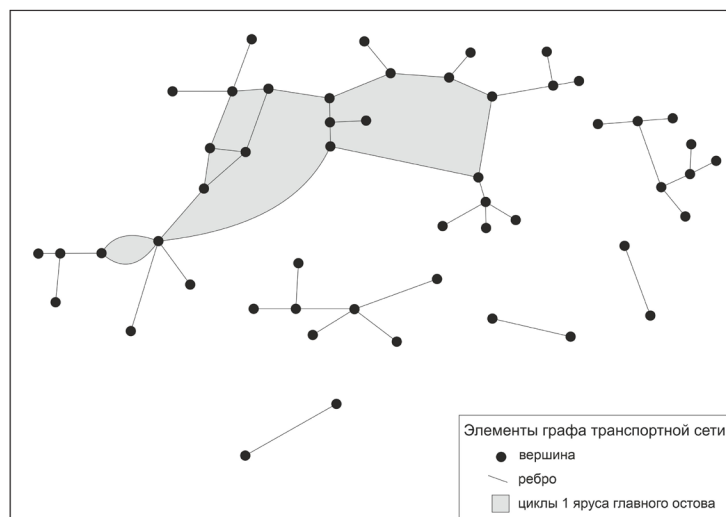


Рис. 5. Граф транспортной сети Чукотского АО.

таких одиночных циклов в сети дорог Магаданской области (4), Ханты-Мансийского автономного округа (3), Республики Хакасии (3), Хабаровского края (3). Их совсем нет в 14 регионах из 27.

Этот топологический дефект не столь серьезен, как первые два. Его исправления не требуется.

5. Многоядерность внутри циклических остовов. Внутри главного циклического остова при проведении границ 2-го (или 3-го) топологического яруса выделяется несколько очагов, которые удалены друг от друга, что означает наличие полицентрич-

ности и разорванности внутри уже самой циклической структуры транспортной сети. Этот дефект не столь опасен для ее целостности, поскольку в ней есть много других циклов (обходных путей). Обычно этот дефект характерен для полицентрических территориальных структур, где вокруг каждого главного подцентра сформировалась своя особая сеть линий сообщения.

Такая многоочаговость второго топологического яруса циклического остова характерна для сухопутных транспортных сетей юга Красноярского края (девять очагов), Иркутской области (восемь очагов),

Республики Якутия (четыре очага), Новосибирской (четыре очага) и Кемеровской (три очага) областей.

Многоочаговость третьего топологического яруса циклического остова наблюдается только в сети дорог Алтайского края. Основной очаг расположен к юго-западу от Барнаула, второй небольшой очаг - чуть западнее него, в районе Завьялово – Степной. Транспортных сетей с таким высоким уровнем сложности (три яруса) мало, и в остальных регионах они моноцентричны: в Омской области (третий ярус вокруг Омска), Приморском крае (третий ярус между Усурийском и Сибирцево) и Якутии (к востоку от Якутска в районе Тунгюлю). Самый обширный третий топологический ярус имеется в транспортной сети Алтайского края (12 циклов), в Омской области он меньше (четыре цикла), и лишь по одному циклу есть в двух остальных регионах.

Выше описаны основные типы топологических дефектов транспортных сетей регионов Сибири и Дальнего Востока. Они упорядочены по возрастанию надежности их структур.

Выводы. Все регионы Сибири и Дальнего Востока по уровню пространственной надежности (уязвимости) топологической структуры их транспортных сетей были разделены нами с учетом вариации значений всех топоморфометрических параметров и сочетаний топологических дефектов в одной региональной сети на следующие типы.

1. Наиболее надежными (неуязвимыми) даже в случае выхода из строя значительной части транспортных линий являются транспортные сети с тремя топологическими ярусами в их циклическом остове, с минимальным числом изолированных компонентов, низким уровнем дендритности и высоким уровнем цикличности, отсутствием побочных остовов, изолированных циклов и соединяющих их линий (соединительных дендритов). К таким наиболее сложным, наиболее надежным и наименее уязвимым структурам относятся транспортные сети Алтайского края (рис. 1), Омской области, Приморского края и Республики Якутии.

2. Высоко надежные сети с более простой топологической структурой (1–2 топологических яруса в циклическом остове, меньшее число циклов, более высокий уровень дендритности) всё равно обладают еще высоким уровнем надежности. К ним относятся транспортные сети Амурской области, Забайкальского края, Новосибирской области, юга Красноярского края, Иркутской и Кемеровской областей, юга Тюменской и Курганской областей (рис. 2).

3. Средне надежные сети со средним числом циклов и повышенной долей дендритов, большим числом автономных компонентов сформировались в Бурятии, Томской области, Ханты-Мансийском автономном округе (рис. 3), Магаданской области и Хакасии.

4. К сильно уязвимым транспортным сетям с низким уровнем пространственной надежности с большим числом топологических дефектов относятся сети Республики Тыва (рис. 4), Ямало-Ненецкого автономного округа, Норильского промышленного района (главный транспортный узел бывшего Таймырского Долгано-Ненецкого автономного округа), Еврейской АО, о. Сахалин.

5. Наиболее уязвимые древовидные сети в Республике Алтай и бывшем Эвенкийском автономном округе, а также сети с очень большим числом автономных компонентов в Чукотском автономном округе, Камчатском и Хабаровском краях, рис. 5) обладают минимальным уровнем пространственной надежности.

Чем больше топологических дефектов в транспортной сети региона, тем меньше уровень ее пространственной надежности. Как показал анализ, в регионах с очень сложными, сложными и средне развитыми транспортными сетями уровень пространственной надежности высокий, в регионах со слабо развитыми сетями (повышенной степенью дендритности и наличием одного-двух изолированных циклов) – низкий.

Благодарности. Исследование было выполнено в Институте географии РАН в рамках проекта «Транспортная связность и изолированность территории Сибири и Дальнего Востока» (грант № 24/2019/РГО-РФФИ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас автодорог. Россия, страны СНГ и Балтии (приграничные районы). М.: Дизайн. Информация. Картография: изд-во АСТ, 2018. 135 с.
2. Атлас автодорог России. От Москвы до окраин. Вып. 11. М.: РУЗ Ко, 2015. 272 с.
3. Бугроменко В.Н. Графо-аналитический метод оценки конфигурации транспортных сетей // Известия Всесоюзного географического общества. 1985. Вып. 1. С. 48–53.

4. *Каючкин Н.П.* Географические основы транспортного освоения территории. Новосибирск: Наука, 2003. 166 с.
5. *Родоман Б.Б.* Территориальные ареалы и сети. Очерки теоретической географии. Смоленск: Ойкумена, 1999. 256 с.
6. *Родоман Б.Б.* Эволюция моноцентрических транспортных сетей // Известия РАН. Сер. геогр. 1994. № 3. С. 14–23.
7. Россия. Атлас автодорог. 2019. М.: АСТ, 2018. 256 С.
8. *Сысоев А.А.* Базы и трассы освоения как элементы территориальной структуры // География и природные ресурсы. 1981. № 2. С. 39–46.
9. *Тархов С.А.* Топологические дефекты структуры транспортных сетей // 2-я Всесоюзная школа-семинар «Проблемы развития народнохозяйственной и региональной производственной инфраструктуры». Тезисы. М.–Душанбе, 1983. С. 95–96.
10. *Тархов С.А.* Эволюционная морфология транспортных сетей. Смоленск–М.: Универсум, 2005. 386 с.
11. *Хаггетт П.* Сетевые модели в географии // Модели в географии. М., 1971. С. 287–343.
12. *Bon R.* Allometry in topological structure of transportation networks // Quality and quantity. 1979. Vol. 13. № 4. P. 307–326.
13. *Haggett P., Chorley R.* Network analysis in geography. London: Edward Arnold, 1969. 348 p.
14. *Kansky K.J.* Structure of transportation networks: relationships between network geometry and regional characteristics // Chicago University, Department of Geography. Research Paper. 1963. № 84. 156 p.
15. *Leusmann C.* Strukturierung eines Verkehrsnetzes. Verkehrsgeographische Untersuchungen unter Verwendung graphentheoretischer Ansätze am Beispiel des Süddeutschen Eisenbahnnetzes // Bonner Geographische Abhandlungen. 1979. Heft 61. 157 s.

Об авторе

Тархов Сергей Анатольевич – доктор географических наук, ведущий научный сотрудник отдела социально-экономической географии Института географии РАН; ведущий научный сотрудник Высшей школы урбанистики факультета городского и регионального развития Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Москва.

Для цитирования:

Тархов С.А. Анализ топологических дефектов сухопутной транспортной сети регионов Сибири и Дальнего Востока // Региональные исследования. 2019. № 3. С. 53–62.
DOI: 10.5922/1994-5280-2019- 3-5

Analysis of topological defects of land transport network of Siberia and Russian Far East' regions

S. A. Tarkhov^{1,2}

¹ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia
e-mail: tram.tarkhov@gmail.com

The level of topological complexity of land transport networks (including roads, railways and winter seasonal roads) of 27 regions of Siberia and the Far East is analyzed on the basis of 16 topomorphometric parameters. The main types of topological defects in the structure of regional land transport networks were identified: spatial isolation (rupture), an increased level of branching, the presence of several cyclic cores and isolated cyclic elements, and multi-core topological tiers of cyclic cores. The highest degree of isolation is revealed in the transport networks of Kamchatka Territory, Chukotka Autonomous Okrug, Khabarovsk Territory and Tomsk Oblast. Transport networks of the Republic of Altai, the Kamchatka Territory, the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, the Republics of Tuva and Buryatia, the Jewish Autonomous Okrug and of the Island of Sakhalin, as well as the main cyclic skeleton of the Chukotka Autonomous Okrug's winter seasonal roads have the highest level of branching. Multi-layeredness is characteristic of the transport network of the Khanty-Mansiysk and Yamalo-Nenets Autonomous Districts, the Kemerovo Oblast, the Khabarovsk Territory and Buryatia. The multifocal nature of the second topological tier of the cyclic skeleton is a distinctive feature of land transport networks in the south of the Krasnoyarsk Territory, the Irkutsk Oblast, the Republic of Yakutia, Kemerovo and Novosibirsk Oblasts. The same feature is characteristic for the third topological tier of the communications' network in the Altai Territory. According to the level of spatial reliability (vulnerability) of the topological structure, the following types of regional transport networks are distinguished: the most reliable (4 regions), highly reliable (8), medium reliable (5), highly vulnerable with a low level of spatial reliability (5), the most vulnerable with a minimum level of spatial reliability (5 regions).

Keywords: transport network, topological defects, circuitual framework, regions, Siberia, Russian Far East.