

СОВРЕМЕННЫЕ ЭКЗОГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ РУССКОЙ РАВНИНЫ¹

Введение

Развитие экзогенных процессов определяется сложным комплексом внешних факторов – климатических, тектонических, литологических, морфологических; одновременно эти процессы в той или иной степени сами влияют друг на друга, определяя морфологию земной поверхности, также являющуюся одним из факторов их развития. Указанная система взаимосвязей приводит к возникновению определенных устойчивых сочетаний экзогенных процессов и обуславливающих их факторов. Эти сочетания, по аналогии с используемым в тектонике и геофизике понятием эндогенных режимов², можно назвать экзогеодинамическими режимами.

Примером выделения экзогеодинамических режимов в глобальном масштабе может служить выделение морфоклиматических зон – областей преобладания определенных экзогенных процессов, тесно связанных с определенными климатическими условиями. Однако, реальное разнообразие процессов и условий в пределах каждой зоны остается нераскрытым, так как для их выделения берется лишь один, климатический, фактор. Это вполне понятно, поскольку равнины, в пределах которых четко проявляется широтная зональность, по сравнению с горами слабо дифференцированы по высотно-тектоническим условиям. Тем не менее, существующая в пределах морфоклиматических зон дифференциация новейших тектонических движений, абсолютных и относительных высот, морфологических особенностей рельефа, ландшафтных условий достаточно велика, чтобы обеспечить значительное разнообразие типов морфогенеза. Поэтому, несмотря на то, что равнины, по большей части, относятся к областям с развитием одного эндогенного режима – платформенного, ограничиваться выделением в их пределах экзогеодинамических режимов, обусловленных лишь климатом, явно недостаточно.

В данной работе мы попытались выделить экзогеодинамические режимы на территории Русской равнины и Балтийского щита (в пределах границ бывшего СССР) по комплексу показателей, включающему в себя климатические, тектонические, морфологические характеристики, а также характеристики самих экзогенных процессов. Для этой цели мы использовали процедуру кластерного анализа, который успешно применялся для выделения и районирования эндогенных режимов по комплексу показателей глубинного строения литосферы [2]. Полученные результаты нельзя считать окончательными; мы рассматриваем их как один из возможных вариантов решения данной задачи и как демонстрацию возможностей данного подхода.

Исходные данные и методика

Результат выделения режимов зависит от того, какие показатели или характеристики используются для описания внешних условий и какие экзогенные процессы принимаются во внимание. Чем богаче набор исходных данных, тем более подробную

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 98-05-64359.

² Оно означает определенные закономерные сочетания эндогенных процессов – тектонических, магматических, метаморфических и тех условий, в которых протекают эти процессы и которые неразрывно с ними связаны, например, термического состояния земных недр, проницаемости литосферы, ее состава и других [1]. Классификация эндогенных режимов, анализ их связи с сейсмичностью, районирование территорий по типу режимов многое дают для понимания закономерностей глубинного строения и тектонического развития земной коры.

и детальную картину можно получить, но в то же время интерпретация результатов делается все более сложной. В настоящей работе мы воспользовались данными по экзогенным процессам, собранными в отделе геоморфологии ИГ РАН [3]. Они включают в себя характеристики глубины и густоты эрозионного расчленения – соответственно, в м и км/км², а также интенсивности оползневых процесса и интенсивности карста – в баллах. Кроме того, к ним был добавлен показатель присутствия мерзлотных процессов (без разделения по интенсивности) на тех территориях, где существуют многолетнемерзлые толщи; дополнительно был введен показатель общей интенсивности эрозионного расчленения, равный произведению глубины на густоту. Этот перечень, конечно, далеко не полон, но все же в него входят показатели основных экзогенных рельефообразующих процессов, по которым собраны данные для всей территории равнины.

Отметим, что замена динамических характеристик процессов (скоростей, объемов и т.п.) на характеристики, отражающие распространенность соответствующих экзогенных форм, вынужденна, так как данных первого типа совершенно недостаточно для анализа такой большой территории.

Значения показателей снимались с соответствующих карт по ячейкам градусной сетки с шагом 20' по широте и 30' по долготе. В набор параметров, характеризующих условия развития экзогенных процессов входили абсолютная высота рельефа, амплитуда неотектонических движений, градиенты этих величин, рассчитанные в тех же ячейках 20' × 30' по значениям в четырех ближайших соседних ячейках, средне-многолетние суммы осадков, среднемноголетний слой стока, степень залесенности (в %), число дней в году с температурой выше нуля и плотность активных разломов. Были использованы климатические атласы, топографические карты, Карта неотектоники Северной Евразии [4] и Карта активных разломов Северной Евразии, любезно предоставленная нам В.Г. Трифионовым. Рассматриваемая территория охватывает 4336 ячеек.

Для выделения кластеров – таких групп ячеек, в пределах которых значения параметров различались бы существенно меньше, чем между группами, т.е. тех характерных сочетаний параметров, которые мы называли экзогеодинамическими режимами, – использовался так называемый метод k -средних кластерного анализа [5]. В этом методе количество кластеров k , на которые разбивается массив данных, задается заранее. При этом следует иметь в виду, что, даже если исходная структура данных и не содержит четко выраженных кластеров в строгом смысле слова, т.е. скоплений (в пространстве переменных) точек, отделенных от других скоплений "пустыми" или "разреженными" зонами, то процедура k -средних все равно может разделить множество точек на группы, внутри которых дисперсия данных будет меньше межгрупповой. В такой ситуации не существует единственного способа разбиения на кластеры, так что исследователь может пробовать различные варианты, выбирая те из них, которые наилучшим образом отвечают поставленной задаче. В нашем случае анализируемые данные имеют пространственную привязку, поэтому важным критерием при оценке результатов кластеризации является характер распределения выделенных кластеров по территории: желательно, чтобы они образовывали более или менее целостные области или зоны, но не располагались хаотично, вперемежку. Задача исследователя – отбор таких вариантов кластеризации, которые дают хорошо различимые и легко интерпретируемые кластеры и наиболее четко отражают существенные особенности территории.

В процессе исследования мы последовательно проводили разбиение на число кластеров от 2 до 16. В результате были выбраны два варианта: с числом кластеров 5 и 8. Привести формальные обоснования такого выбора затруднительно. Величины так называемого F -отношения (отношения межгрупповой дисперсии к внутригрупповой), характеризующего качество разбиения по каждому из параметров, достаточно велики для всех вариантов. Среднее по всем параметрам значение F -отношения имеет максимум при числе кластеров $k = 5$ и 6 (еще один локальный максимум наблюдается



Рис. 1. Среднее по всем переменным значение F -отношения для различного числа кластеров

при $k = 12$) и слегка падает после $k = 8$ (рис. 1). Однако известно, что F -отношение в кластерном анализе не является строгой статистической оценкой и может быть использовано только условно. Поэтому при выборе указанных вариантов разбиения мы руководствовались не столько этим формальным признаком, сколько логичностью, простотой и содержательностью получаемого районирования. Дополнительными критериями служило то, что при малых k разбиение получается слишком грубым и не может отразить многообразия условий территории (хотя такие варианты и не лишены интереса), а при $k > 8$ возникают более или менее "рассыпанные" по территории кластеры и различия средних значений параметров делаются незначительными, что затрудняет интерпретацию кластеров как определенных, характерных, режимов.

Для того чтобы исключить влияние различия единиц измерения данные были предварительно стандартизованы (каждый параметр приведен к нулевому среднему и стандартному отклонению равному единице). Начальное положение центров кластеров выбиралось на равных расстояниях в пространстве переменных, мерой близости служило евклидово расстояние [5]. Каждый из режимов (кластеров) обладает набором средних значений всех параметров, который является как бы "паспортом" данного режима, характеризующим его основные свойства. (Естественно, что в пределах каждого режима существует разброс значений вокруг средних величин, а сами средние лишь показывают различия между режимами в целом).

Обсуждение результатов

Режимы 5 типов. На рис. 2 изображено распределение пяти экзогеодинамических режимов на территории Русской равнины (включая часть Балтийского щита). Учитывая все разнообразие рельефообразующих процессов и условий их развития в пределах данной территории, выделение всего пяти типов является довольно грубым и соответствующее районирование отражает лишь весьма общие закономерности современного развития равнины. В таблице 1 для каждого из режимов приведены средние значения всех параметров, а на рис. 3 – графики нормированных средних, из которых хорошо видно различие режимов.

Опишем выделенные режимы в порядке убывания занимаемой ими площади, обращая внимание в первую очередь на их наиболее характерные особенности – экстремальные значения тех или иных параметров.

Для **режима первого типа**, характерны максимальная залесенность территории (более 50%), максимальное количество осадков (более 700 мм/год), значительная выровненность рельефа (малые градиенты высот) и наименьшая контрастность новейших движений. В этих условиях интенсивность эрозионных и оползневых процессов весьма мала. Интенсивность карстовых процессов в целом для этого режима повышена, хотя многочисленные карстовые районы не выделяются в самостоятельные

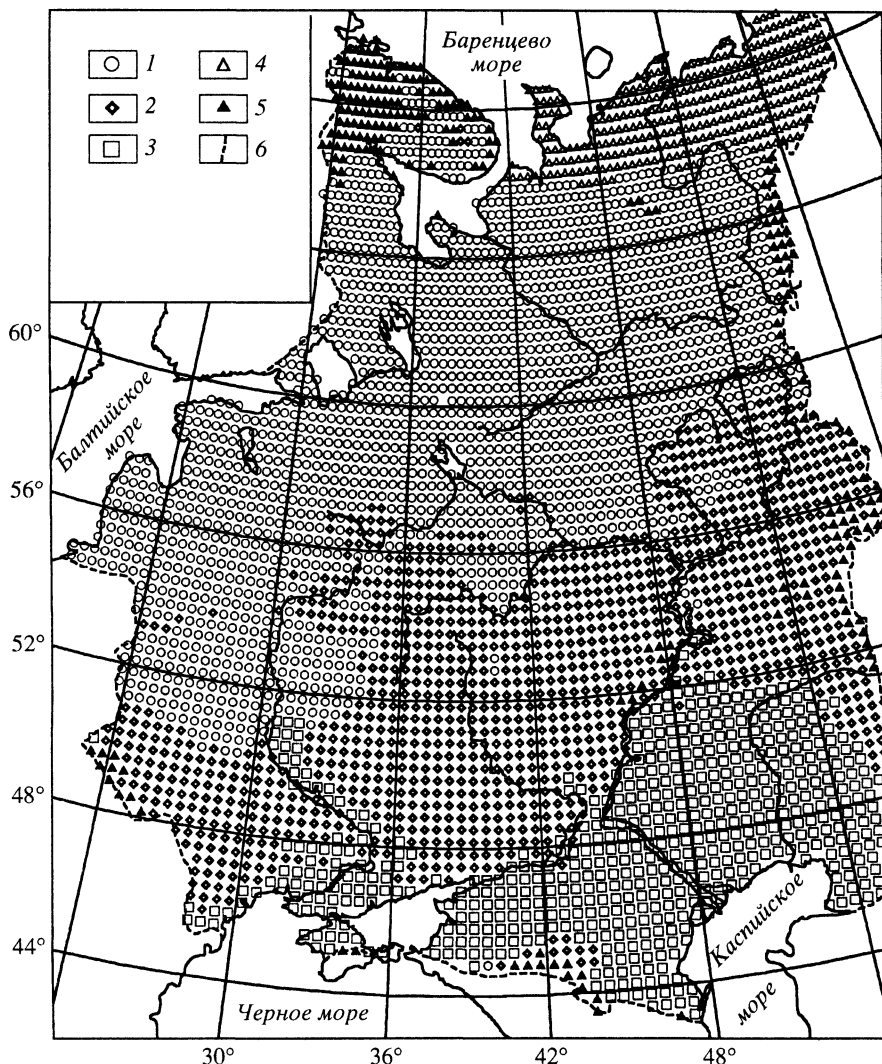


Рис. 2. Распространение экзогеодинамических режимов пяти типов на Русской равнине и Балтийском щите
1–5 – номера режимов (каждый значок соответствует ячейке $20' \times 30'$); 6 – граница исследуемой территории

области. Распространен данный режим на северо-западе равнины, охватывая большую часть областей четвертичных оледенений. К нему относится также юго-восточная окраина Балтийского щита. Морфологически он представлен волнистыми, пологохолмистыми, холмисто-увалистыми возвышенностями и низменностями с широким развитием ледниковых форм [6, рис. 3]. Его можно назвать режимом слабых эрозионно-денудационных процессов в условиях высокой залесенности и увлаженности и слабо контрастных новейших движений с преобладанием поднятий, или режимом равнин ледниковой и водноледниковой аккумуляции.

Режим второго типа отличается значительными амплитудами новейших поднятий (около 200 м) и абсолютными высотами (172 м), большой глубиной расчленения и высокой его общей интенсивностью, максимальным развитием оползневых процессов (около 3-х баллов при общем разбросе значений в отдельных ячейках для всей равнины от 0 до 7 баллов). Для него характерна слабая залесенность и несколько

Средние значения параметров для пяти экзогеодинамических режимов

Номера режимов	1	2	3	4	5
Неотектонические движения (м)	95	192	-207	-4	303
Абсолютная высота (м)	130	172	42	88	228
Градиент неотектонических движений (м/км)	0,97	2,02	3,47	1,95	4,39
Градиент абсолютных высот (м/км)	0,85	0,75	0,71	1,25	3,31
Глубина расчленения (м)	20	52	17	22	89
Густота расчленения (км/км ²)	0,81	0,9	0,26	1,52	1,21
Интенсивность расчленения	18,3	47,7	6,9	35,6	105,1
Интенсивность оползневых процессов (баллы)	0,55	2,76	0,32	0,90	1,23
Интенсивность карстовых процессов (баллы)	1,0	1,17	0,29	0,37	1,02
Среднегодовые суммы осадков (мм)	726	620	389	622	679
Среднегодовой сток (мм)	267	116	13	368	340
Залесенность территории (%)	53	16	1	19	38
Количество дней в году с температурой выше 0°C	208	226	249	143	184
Наличие мерзлотных процессов (баллы)	0,0	0,0	0,0	1	0,1
Плотность активных разломов (10 ⁻³ км/км ²)	16	18	13	20	57

пониженное увлажнение (средние для равнины величины осадков и пониженный сток). Это, очевидно, режим глубинного расчленения и оползневой переработки склонов в условиях значительных новейших поднятий. Он распространен главным образом, на возвышенностях и равнинах юго-запада и центра рассматриваемой территории и представлен увалистым, грядово- или холмисто-увалистым и столово-ступенчатым типом морфоскульптуры [6].

Для **режима третьего типа** характерны минимальные значения интенсивности всех рассматриваемых нами процессов, минимальные значения осадков, стока и залесенности, а также высот рельефа. Области его развития соответствуют преимущественно районам значительных новейших погружений с высокими градиентами скоростей. Он занимает территорию низменностей и невысоких возвышенностей юго-востока равнины с плоской или слабоволнистой поверхностью. По сути, это режим аккумулятивных низменностей и слабо расчлененных равнин, развивающихся в семиаридных условиях – режим преобладающей аккумуляции.

Режим четвертого типа, развитый на северо-востоке равнины, отличается максимальными значениями стока (368 мм/год), густоты расчленения (1,52 км/км²), холодным климатом и развитием мерзлотных процессов. Он охватывает как возвышенности так и низменности при общем, несколько пониженном уровне абсолютных высот и несколько повышенной контрастности рельефа. Его можно назвать режимом мерзлотно-эрозионного расчленения.

Наконец, **пятый режим** характеризуется максимальными значениями новейших поднятий (303 м) и абсолютных высот (228 м) при максимальной их контрастности, максимальными значениями глубины и общей интенсивности расчленения, максимальной плотностью активных разломов и максимальным (наряду с четвертым режимом) стоком. Распространен он в краевых частях равнины, примыкающих к горным сооружениям – на возвышенностях Приуралья, Предкарпатского прогиба, Ставропольский, а также на Кольском п-ове. По многим показателям и по своей территориальной приуроченности, он занимает промежуточное положение между рав-

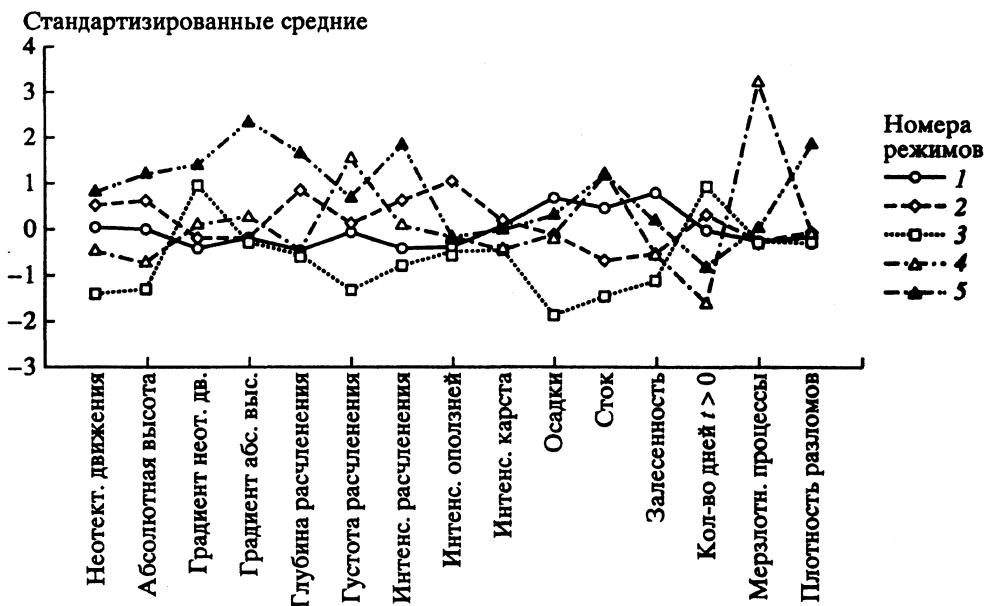


Рис. 3. Графики стандартизированных средних значений параметров для 5 экзогеодинамических режимов

нинами и горами, так что его можно считать переходным к горному или "квазигорным" режимом. Любопытно, что к нему оказались отнесены и некоторые небольшие области внутри равнины: отдельные участки Тиманского кряжа, Приволжской и Бугульмиско-Белебеевской возвышенностей. Все они характеризуются значительной контрастностью высот рельефа, амплитуд новейших движений, повышенными величинами показателей эрозионного расчленения.

Распространение пяти выделенных типов режимов в общих чертах соответствует распространению основных типов морфоскульптуры Русской равнины, схема которого приведена на рис. 4. Легко видеть, что область распространения режима первого типа в общих чертах соответствует областям древнеледниковой морфоскульптуры, второго – эрозионно-денудационной, четвертого – области развития мерзлотных форм, пятого – комплексу форм аридной денудации и флювиально-аккумулятивных. Кроме того, выделился режим, отвечающий промежуточному типу между эрозионно-денудационным рельефом равнин и гор.

Интересно то, что режим первого типа, весьма точно соответствующий районам ледниковой и водно-ледниковой аккумуляции, был выделен без привлечения каких-либо данных о соответствующих процессах или формах. Этот результат служит подтверждением тому, что различные процессы и факторы морфогенеза вкупе с морфологическими характеристиками (даже весьма простыми, как абсолютные высоты и расчлененность) действительно образуют устойчивые характерные сочетания.

Таблица 2

Матрица расстояний между центрами кластеров, соответствующих пяти режимам

Номера кластеров	2	3	4	5
1	2,93	4,58	4,82	5,26
2		4,40	5,45	4,65
3			6,51	7,52
4				6,14

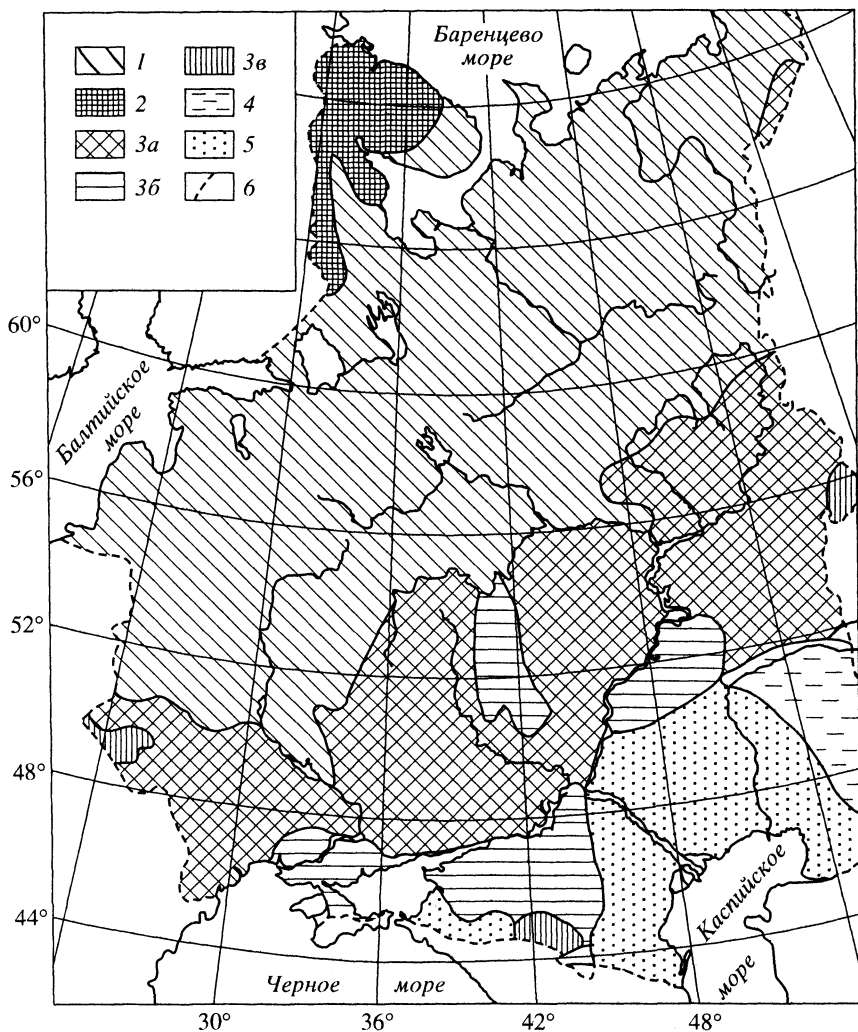


Рис. 4. Схема распространения основных типов морфоскульптуры Русской равнины и Балтийского щита. По [6, рис. 3] с упрощениями

Типы морфоскульптуры: 1 – созданные процессами ледниковой и водноледниковой аккумуляции, в том числе, с последующей эрозией; 2 – созданные или переработанные процессами экзарации – грядово-холмистый и горный; 3 – созданные эрозионно-денудационными процессами: а – увалистый и грядово-увалистый, б – плоский и слабо волнистый, в – платообразный (врезанный); 4 – преобразованные комплексной аридной денудацией; 5 – четвертичные рельефообразующие покровы (морского, аллювиального и дельтового генезиса); 6 – граница рассматриваемой территории

О том, насколько каждый из режимов отличается от других, дает представление матрица расстояний (в пространстве переменных) между центрами кластеров (напомним, что положение этих центров определяется средними значениями переменных и служит количественной характеристикой режимов). Из таблицы 2 видно, что самыми близкими режимами являются первый и второй, а наиболее контрастными третий и пятый. Отметим, кстати, что среднее расстояние между кластерами максимально при числе режимов равному пяти, что послужило дополнительным аргументом для выбора этого варианта.

Средние значения параметров для восьми экзогеодинамических режимов

Номера режимов	1	2	3	4	5	6	7	8
Неотектонические движения (м)	125	63	113	–4	287	212	119	–397
Абсолютная высота (м)	135	131	131	88	229	186	114	11
Градиент неотектонических движений (м/км)	1,11	0,68	1,64	1,93	5,65	1,34	1,91	5,07
Градиент абсолютных высот (м/км)	1,00	0,62	0,93	1,24	3,95	0,75	0,83	0,53
Глубина расчленения (м)	25	16	22	22	93	60	38	7
Густота расчленения (км/км ²)	0,98	0,62	0,77	1,52	1,16	1,00	0,62	0,12
Интенсивность расчленения	26,0	10,7	19,0	36,0	107,9	59,2	25,0	1,1
Интенсивность оползневых процессов (баллы)	0,61	0,68	0,93	0,92	1,16	3,35	1,03	0,09
Интенсивность карстовых процессов (баллы)	0,26	0,78	4,83	0,37	0,95	1,35	0,37	0,32
Среднегодовые суммы осадков (мм)	712	739	733	626	687	648	512	349
Среднегодовой сток (мм)	313	193	279	369	358	137	44	10
Залесенность территории (%)	64	33	57	19	37	20	3	2
Количество дней в году с температурой выше 0°C	195	246	208	150	193	228	250	256
Наличие мерзлотных процессов (баллы)	0	0	0	1	0,1	0	0	0
Плотность активных разломов (10 ^{–3} км/км ²)	19	14	17	19	62	17	17	11

Режимы 8 типов. Во втором, более подробном варианте классификации, было выделено, как уже говорилось, восемь типов режимов. Свойственные им средние значения параметров приведены в таблице 3 и на рис. 5, а распространение режимов изображено на рис. 6. Сравнивая этот последний рисунок и рис. 3, легко заметить, что в новом варианте некоторые из режимов остались практически без изменения, а некоторые оказались разбитыми на части. Так, эрозионно-мерзлотный и квазигорный режимы почти не изменились ни по своим параметрам, ни по расположению. На рис. 6 им соответствуют режимы с теми же номерами 4 и 5. Режим первого типа на рис. 2, охватывающий область ледниковой морфоскульптуры, оказался разбит на три самостоятельных режима, которым на рис. 6 соответствуют номера 1, 2, и 3; с другой стороны, второй и третий режимы, занимающие юго-восточную половину равнины, также оказались разбитыми на три режима – 6, 7 и 8. Мы не будем давать описание четвертого и пятого режимов, поскольку они почти не изменились. Отметим лишь, что пятый, квазигорный, режим стал чуть более "горным", так что внутренние точки равнины, принадлежавшие к нему в первом варианте пяти режимов, сейчас, при разделении на восемь режимов, оказались из него исключенными – все, кроме небольшого участка Приволжской возвышенности в районе Саратова.

Режим первого типа (рис. 6) распространен на северо-востоке равнины в пределах Северных Увалов, Двинско-Мезенской, Сухонской и ряда более мелких возвышенностей и разделяющих их низменностей, а также в пределах юго-восточной части Балтийского щита. Он характеризуется максимальной залесенностью, высокими значениями осадков и стока, несколько пониженными глубиной и общей интенсивностью

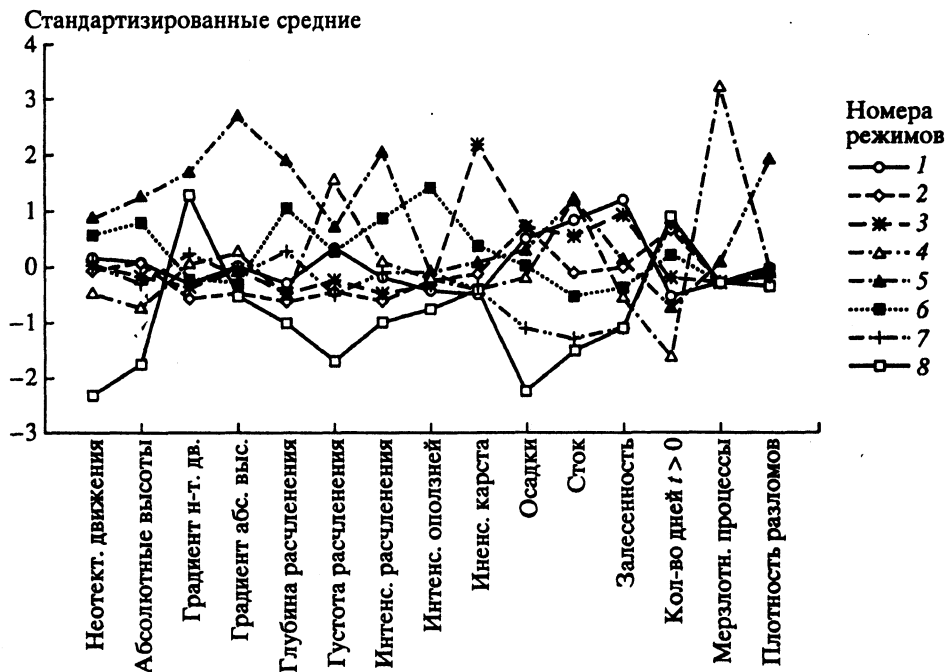


Рис. 5. Графики стандартизованных средних значений параметров для 8 экзогеодинамических режимов

расчленения, при слегка повышенной его густоте. Новейшие поднятия и абсолютные высоты, как и их градиенты характеризуются умеренными (близкими к средним) значениями. Здесь преобладает рельеф волнистых и полого-холмистых моренных равнин, в том числе, переработанных последующей эрозией; к этому режиму относятся также цокольные равнины Балтийского щита [6].

Режим второго типа, распространенный в западных и центральных частях равнины, отличается от первого более теплым и влажным климатом, но меньшим стоком, меньшей залесенностью, более сглаженным рельефом и слабым расчленением, меньшими величинами новейших поднятий и их градиентов. Он приурочен, главным образом, к отрицательным новейшим структурным формам. Этот режим охватывает многочисленные формы ледниковой, водно-ледниковой, аллювиальной и озерно-аллювиальной аккумуляции.

По-видимому, более интенсивное расчленение, свойственное первому режиму по сравнению со вторым, связано с большей контрастностью новейших движений, большей ролью поднятий и, возможно, с большей величиной стока в его пределах. Его можно считать режимом умеренной эрозионной переработки древнеледникового рельефа, в условиях значительного стока и относительно контрастных новейших движений. Режим второго типа может быть назван режимом слабой переработки древнеледникового рельефа и аккумулятивных форм иного генезиса в условиях малоамплитудных и малоконтрастных новейших движений.

Режим третьего типа имеет очень четко выраженный характер – это режим карстовой денудации в условиях высокой залесенности и увлажненности территории. По остальным показателям никакие яркие особенности этого режима не обнаруживаются. Он распространен как на возвышенностях, так и на низменностях при средней высоте 112 м. Отметим, что данный режим выделяется, главным образом, в пределах режима первого типа на рис. 2, т.е. на фоне *слабого* развития эрозионных и оползневых процессов. Именно это обстоятельство и выводит в данных районах довольно

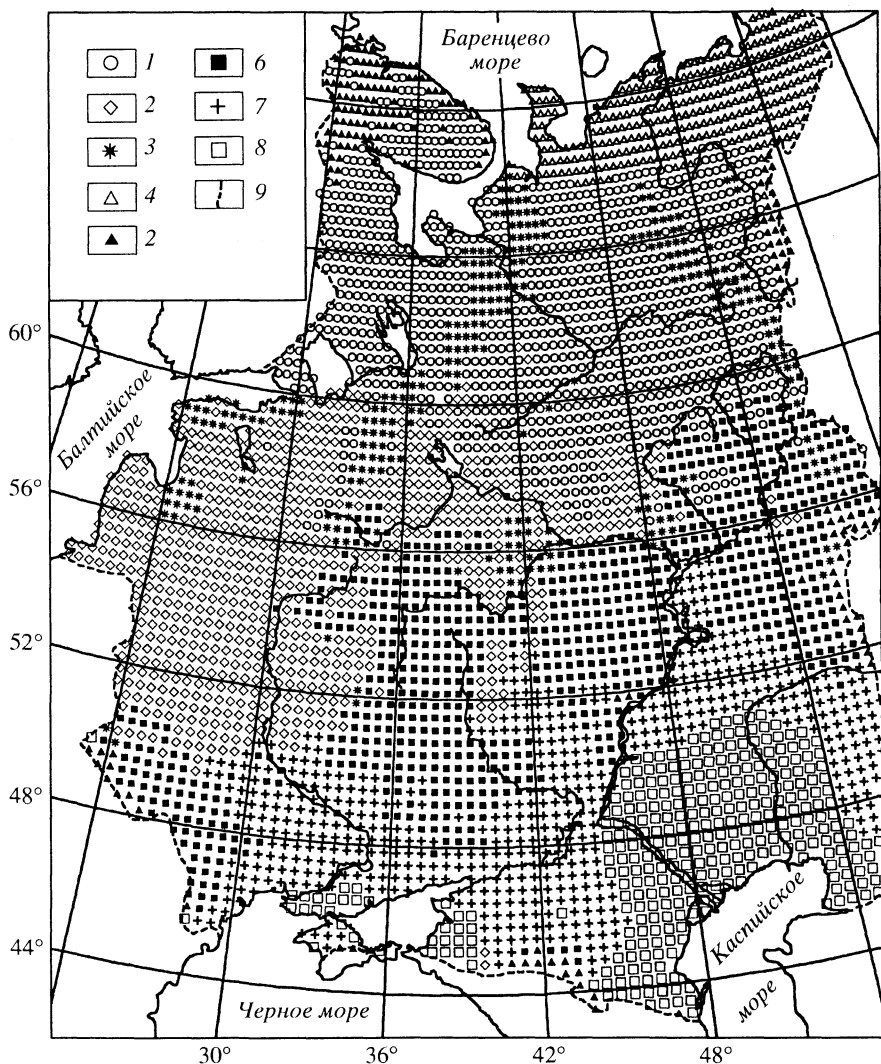


Рис. 6. Распространение экзогеодинамических режимов восьми типов на Русской равнине и Балтийском щите 1–8 – номера режимов (каждый значок соответствует ячейке $20' \times 30'$); 9 – граница исследуемой территории

интенсивные карстовые процессы как бы на первое место. Карстовые районы в южной половине равнины, нередко с не менее активными карстовыми процессами, не оказались включенными в этот режим, поскольку там они характеризуются одновременно интенсивным эрозионным расчленением и оползневыми процессами.

Шестой режим в общих чертах подобен второму режиму из первого варианта районирования. Для него характерны высокие показатели эрозионного расчленения, максимальная интенсивность оползней, заметный уровень развития карстовых процессов. Эта активность экзогенных процессов реализуется в условиях интенсивных новейших поднятий, значительных абсолютных высот и умеренных значений остальных характеристик. Распространен он на крупных возвышенностях центральной и юго-восточной частей Русской равнины – Приднестровской, Среднерусской, Приволжской, Бугульминско–Белебеевской, Верхнекамской, а также на отдельных участках Вал-

Матрица расстояний между центрами кластеров, соответствующих восьми режимам

Номера кластеров	2	3	4	5	6	7	8
1	2,28	3,06	4,59	5,49	3,48	3,83	5,99
2		3,10	5,36	6,49	3,25	2,63	4,83
3			5,60	6,28	3,95	4,52	6,35
4				6,54	5,57	5,75	7,09
5					5,03	6,34	8,80
6						2,91	6,12
7							3,70

дайской, Ставропольской и некоторых других возвышенностей. Этот режим соответствует увалистому и столово-ступенчатому типам эрозионно-денудационной морфоскульптуры [6] и может быть назван эрозионно-оползневый режимом активных неотектонических поднятий.

Седьмой режим распространен в пределах промежуточной зоны между указанными возвышенностями и низменностями крайнего юга, занимая отдельные равнины (Приднепровская, Полтавская, Донская) и периферические части (или склоны) некоторых возвышенностей и низменностей. Он характеризуется значительно меньшими, чем шестой, величинами почти всех параметров (кроме градиентов новейших движений и градиентов абсолютных высот). Особенно малы залесенность (3%) и сток (44 мм). Плоский, слабоволнистый и, частично увалистый типы эрозионно-денудационной морфоскульптуры соответствуют областям его распространения. Это режим эрозионного расчленения умеренных поднятий в семиаридных условиях.

Наконец, последний, **восьмой**, из выделенных режимов развит в пределах почти не расчлененных низменностей с минимальными абсолютными отметками – Прикаспийской и наиболее низких частей Причерноморской и Приазовской, в новейшее время испытывавших интенсивное погружение. Рассматриваемые нами экзогенные процессы развиты здесь крайне слабо. Этот режим, по своим характеристикам напоминающий третий режим из первого варианта, может быть назван режимом аккумулятивных низменностей – неотектонических депрессий, развивающихся в аридных и семиаридных условиях.

В выделении описанных режимов различные характеристики сыграли различную роль. Некоторые режимы выделены при ведущей роли климатического фактора, как, например, четвертый, другие – высотно-тектонического, как пятый; в выделении третьего режима основную роль сыграл показатель интенсивности одного из экзогенных процессов – карста. Это дает известные основания трактовать подобные режимы как преимущественно климатогенные, тектоногенные и т.д. Но в большинстве случаев для выделения режима важен именно комплекс различных факторов.

Степень сходства или, наоборот, различия режимов между собой можно оценить по данным таблицы 4, где представлены расстояния между центрами соответствующих кластеров. Наиболее близки между собой первые три режима (в совокупности примерно соответствующие первому режиму в предыдущем варианте районирования), а также седьмой со вторым и седьмой с шестым. Самыми контрастными являются пятый, четвертый и восьмой режимы, характеризующиеся большими различиями как между собой, так и со многими другими режимами. В общих чертах они сохраняются и при многих других (не рассматриваемых здесь) вариантах районирования с другим количеством выделяемых режимов.

Другой, пожалуй, более наглядный способ представить взаимные соотношения между режимами заключается в построении древовидного графа, на котором по вертикали отложено расстояние между центрами кластеров или их групп, а по горизонтали расположены сами кластеры (режимы). Объединение в одну группу показано гори-

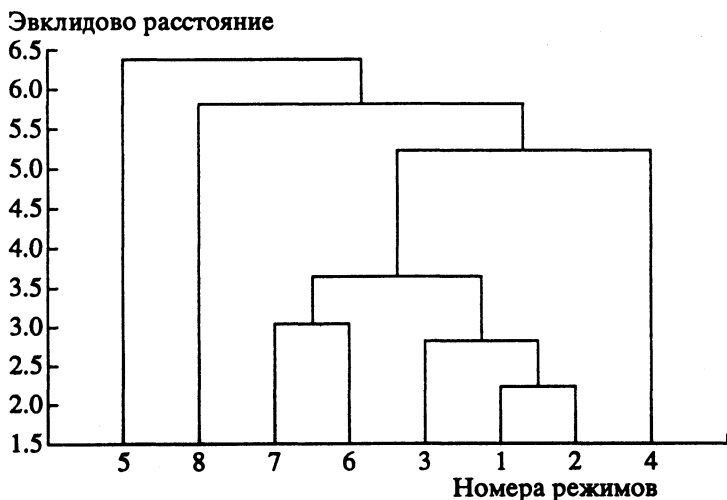


Рис. 7. Иерархическое объединение восьми режимов по степени их сходства друг с другом

горизонтальными чертами на той или иной высоте, соответствующей расстоянию между группами. Такой результат получается путем иерархической кластеризации самих режимов, каждый из которых представлен набором своих средних. На рис. 7 отчетливо видно, как могут быть объединены режимы: два ближайших – первый и второй, к которым присоединяется третий, образуют одну группу, седьмой и шестой – другую. Обе группы могут быть объединены на следующем уровне, и значительно дальше отстоят от них четвертый, восьмой и, наконец, самый обособленный – пятый.

Граница четвертого, "эрозионно-мерзлотного", режима, показанная на рис. 2, определена при использовании полного набора переменных, включающего и показатель присутствия мерзлотных процессов. Однако, если удалить этот показатель как весьма грубый, то граница четвертого режима претерпит лишь очень незначительные смещения, а область его развития сохранится почти без изменений. Подобно выделению области ледниковой аккумуляции в первом варианте районирования, этот результат подчеркивает тесную взаимосвязь условий и процессов рельефообразования.

Анализ выделенных режимов позволяет не только дать комплексную характеристику геоморфологических условий (с той или иной степенью детальности), но и намечает возможный путь для определения ведущего процесса (или процессов) в современном развитии данной территории по их относительному вкладу в соответствующий режим. Так, например, для третьего режима ведущим процессом, как уже говорилось, можно считать карстовый, для пятого – глубинную эрозию, для шестого – глубинную эрозию и оползневой, для четвертого – горизонтальное расчленение и мерзлотные процессы. Конечно, эти оценки очень относительны и могут измениться, поскольку мы не располагали исчерпывающей информацией обо всех геоморфологических процессах. Они соответствуют использованному набору переменных и той детальности, с которой были получены исходные данные.

Заключение

Итак, мы выяснили, что территория Русской равнины и Балтийского щита может быть разбита на ряд областей существенно различающихся по комплексу условий рельефообразования, интенсивности и набору экзогенных процессов, характеру новейших тектонических движений. В каждой из этих областей сочетание всех этих характеристик приводит к формированию определенного облика рельефа, определенной направленности морфогенеза, обуславливает выделение тех или иных процессов и

факторов как ведущих. Таким образом, режим платформенной равнины, свойственный в целом всей рассматриваемой территории, разбивается на ряд подтипов, которые мы называем здесь экзогеодинамическими режимами равнины. Это понятие, очевидно, является частным случаем более общего понятия – геоморфологический режим [7] – и мы остановились на нем потому, что большая часть использованных характеристик относится к экзогенным условиям и процессам, которым уделено основное внимание.

За рамками данной работы остались многие интересные вопросы: как создать иерархическую классификацию режимов – путем их объединения при изначально большом количестве, или путем последовательного разбиения отдельных режимов на подтипы; как соотносятся режимы, выделяемые на разных масштабных уровнях; какой набор переменных является оптимальным для выделения режимов; как соотносится полученное районирование с крупными морфогенетическими выделами; как связаны экзогеодинамические режимы с эколого-геоморфологическими условиями и другие. Особый и весьма сложный вопрос это эволюция режимов во времени. Конечно, их невозможно рассмотреть в рамках одной статьи, но нам представляется, что дальнейшие исследования в этом направлении достаточно перспективны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов В.В. Эндогенные режимы и общие закономерности развития материков // Тектоносфера земли. М.: Наука, 1978. С. 79–108.
2. Рейснер Г.И., Рейснер М.Г. Современные эндогенные режимы // ДАН СССР. 1986. Т. 291. № 6. С. 1336–1339.
3. Бронгулеев В.Вад., Благоволин Н.С., Денисова Т.Б. и др. Некоторые особенности современной экзогеодинамики Русской равнины и вопросы ее картографирования // Геоморфология. 1997. № 3. С. 42–51.
4. Карта новейшей тектоники Северной Евразии в м-бе 1:5 000 000 под ред. А.Ф. Грачева. М.: 1997.
5. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика. 1989. 214 с.
6. Морфоструктура и морфоскульптура платформенных равнин СССР и дна омывающих его морей. М.: Наука, 1986. 190 с.
7. Бронгулеев В.Вад., Тимофеев Д.А., Чичагов В.П. Геоморфологические режимы // Геоморфология. 2000. № 4. С.

Институт географии РАН

Поступила в редакцию
12.05.2000

RECENT EXOGEODYNAMIC REGIMES OF THE RUSSIAN PLAIN

V.VAD. BRONGULEYEV

S u m m a r y

The geomorphologic regime of platform plain may be subdivided into different types, which are determined by numerous processes and factors of morphogenesis including the morphological features of landforms. All processes and factors may be united into persistent characteristic complexes – exogeodynamic regimes of a plain. Using K-means technique of cluster analysis, 8 regimes of the Russian Plain were revealed: regime of erosion-frost dissection in the far North-East of the Plain, quasi-mountainous regime of peripheral parts, regime of predominant carstic denudation of humid and forested areas and others. For this purpose 15 parameters were used, including characteristics of some exogenous processes, and climatic, morphologic, and tectonic factors. The subsequent hierarchical clustering of regimes shows their interrelations. The spatial distribution and characteristics of regimes are described, as well as their relation to morphosculpture of the territory.

Автор благодарит А.Г. Макаренко за большую помощь в подготовке исходных данных. Расчеты производились с использованием ПСП "Statistica" и "SPSS", визуализация – с использованием пакета "Surfer" и ряда вспомогательных программ, составленных автором.