

УДК 551.435.06(571.1)

© 2004 г. В.ВАД. БРОНГУЛЕЕВ, А.Г. МАКАРЕНКО

О ВЛИЯНИИ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Введение

Оценка влияния, которое различные внешние факторы – климатические, тектонические, ландшафтные – оказывают на интенсивность экзогенных процессов, представляет большой интерес как с практической, так и с теоретической стороны. Надежно оценить степень такого влияния можно было бы, располагая длинными рядами наблюдений за интенсивностью процессов, при меняющихся внешних условиях; последние должны при этом меняться достаточно медленно, чтобы изменения процессов успевали прийти в соответствие с ними. При отсутствии подобных наблюдений можно использовать в качестве исходных данных совокупность пространственно распределенных значений, каждое из которых относится к определенной географической точке или ячейке. Пример такого рода исследований можно найти в работе [1], в которой анализируется связь глубины и густоты эрозионного расчленения с абсолютными высотами в горной области.

В этом случае приходится допускать, что на всей территории, включенной в анализ, процессы и условия находятся во взаимном равновесии или близком к нему состоянии, что, конечно, не обязательно выполняется. Надо сказать, что оно не всегда выполняется и при анализе временных рядов наблюдений. Интервал времени, в течение которого процесс приходит в соответствие с изменившимися условиями, может существенно превышать годы или первые десятки лет – продолжительность инструментальных наблюдений. Многие изменения происходят гораздо медленнее и приводят не к сравнительно быстрому прямому отклику, как, например, усиление склоновых процессов после продолжительных дождей, но к замедленным, опосредованным результатам, вызванным перестройкой всего ландшафта. Так, увлажнение климата может привести к облесению территории и ослаблению эрозионных и других процессов, однако инструментальные измерения не успеют это зафиксировать.

Другое осложняющее обстоятельство состоит в том, что мы не располагаем данными об интенсивности процессов на больших территориях и ее приходится оценивать косвенно, по распространенности соответствующих форм рельефа. В данной работе мы воспользовались именно таким подходом для анализа связей ряда экзогенных процессов с некоторыми внешними факторами в пределах Западно-Сибирской равнины.

Исходные данные и методика

Нами рассматривались такие характеристики экзоморфогенеза, как глубина и густота эрозионного расчленения, криогенные образования – бугры пучения и жильно-полигональные формы, термокарстовые явления, заболоченность территории. В дальнейшем мы будем называть их зависимыми переменными. В качестве внешних

факторов или условий, которые можно назвать независимыми переменными (это, конечно, не означает независимости их между собой), брались средние абсолютные высоты рельефа H , определяемые как полусумма максимальной H_{\max} , и минимальной H_{\min} , отметок в ячейке, величины новейших тектонических деформаций Nt , пространственные градиенты этих двух показателей grH и $grNt$, среднемноголетние суммы осадков P , среднемноголетний сток R , продолжительность теплого периода T , точнее, число дней в году с температурой выше 0°C , залесенность территории F (%), плотность активных разломов D (км/км²). Данные снимались со специальных [2–4] или топографических (в м-бе 1 : 300000) карт по ячейкам $20' \times 30'$ градусной сетки. Градиенты рассчитывались в каждой ячейке по значениям в четырех соседних с ней.

Глубина h и густота d (км/км²) эрозионного расчленения, отражающие интенсивность линейной эрозии, брались с Карты эрозионной опасности, составленной в ИГ-РАН [5]. Заболоченность b , которую мы использовали как меру интенсивности процесса болотообразования, оценивалась по топографическим картам в процентах площади, занятой болотами или заболоченным лесом. Распространенность криогенных (бугров пучения и жильно-полигонального рельефа) и посткриогенных (термокарстовых) форм, рассматриваемая как характеристика интенсивности соответствующих процессов, оценивалась в баллах. Оценка для термокарста, Tk , была получена следующим образом. Областям развития островной и сплошной многолетней мерзлоты [6] приписывались соответственно 1 и 2 балла. Поскольку в зоне мерзлоты подавляющее количество озер либо имеют термокарстовое происхождение, либо сопровождаются развитием термокарста, то в пределах области сплошной многолетней мерзлоты к этим цифрам прибавлялось по одному, а островной – по 0.5 балла на каждые 10% заозеренности территории. Амплитуда оценки составила 7 баллов. Для криогенных процессов, Cr , оценка составлялась следующим образом. Областям развития жильно-полигонального рельефа в стадии роста (по [7]) приписывался 1 балл. Областям развития бугров пучения каждого из нескольких выделяемых на севере Западной Сибири типов (там же) приписывалось по 0.5 балла (в пределах островной мерзлоты – 0.25), кроме бугров междуречий и надпойменных террас, образующихся при промерзании замкнутых таликов, для которых эта оценка составляла 1 балл. Кроме того, ячейкам, в пределах которых на топографической карте м-ба 1 : 300000 встречались знаки крупных бугров пучения, добавлялся еще 1 балл. Оценки суммировались; результирующая имела размах от 0.25 до 4 баллов.

Конечно, полученные таким образом оценки довольно грубы, но мы все же воспользовались ими, поскольку было бы жалко полностью исключить из рассмотрения мерзлотные процессы, занимающие в экзогеодинамике Западной Сибири важнейшее место. Следует только иметь в виду, что рассчитанные по этим данным показатели связи весьма приблизительны и носят, скорее, качественный характер.

Для анализа связей характеристик экзоморфогенеза с различными факторами вычислялись обычный коэффициент корреляции Пирсона и коэффициент ранговой корреляции Спирмена, являющийся более адекватной мерой связи, чем обычный, для балльных оценок. Коэффициенты рассчитывались как для всей Западно-Сибирской равнины в целом, так и для отдельных ее частей. Рассматривались также частные коэффициенты корреляции и коэффициенты множественной регрессии, характеризующие суммарную связь того или иного процесса с комплексом факторов. Кроме того, мы проводили анализ пространственной изменчивости связи с помощью приема скользящего окна, который позволяет выделить области с различной теснотой связи [8]. В этом случае рассчитывался только обычный коэффициент корреляции.

Обсуждение результатов

Парные корреляционные связи. Рассмотрим парные корреляции, которые фиксируются непосредственно по исходным данным для всей территории Западно-Сибир-

Парные коэффициенты корреляции

Зависимые переменные	Коэффициенты корреляции	Независимые переменные								
		<i>H</i>	<i>grH</i>	<i>Nt</i>	<i>grNt</i>	<i>D</i>	<i>F</i>	<i>T</i>	<i>P</i>	<i>O</i>
<i>h</i>	<i>r</i>	0.30	0.37	0.41	0.27	0.00	0.23	-0.04	0.08	0.11
	<i>r_s</i>	0.31	0.34	0.44	0.17	0.01	0.24	-0.02	0.03	0.06
<i>d</i>	<i>r</i>	-0.24	0.13	0.05	0.28	-0.07	-0.12	-0.65	-0.21	0.40
	<i>r_s</i>	-0.26	0.23	0.24	0.37	-0.03	-0.01	-0.63	-0.05	0.46
<i>b</i>	<i>r</i>	-0.26	-0.18	-0.15	-0.19	-0.01	0.23	0.06	0.50	0.25
	<i>r_s</i>	-0.25	-0.18	-0.19	-0.16	0.04	0.32	-0.11	0.54	0.27
<i>Cr</i>	<i>r</i>	-0.49	-0.05	-0.02	0.21	-0.05	-0.52	-0.81	-0.37	0.39
	<i>r_s</i>	-0.62	0.04	0.02	0.35	-0.02	-0.45	-0.82	-0.23	0.54
<i>Tk</i>	<i>r</i>	-0.55	-0.02	-0.07	0.22	-0.00	-0.46	-0.83	-0.26	0.51
	<i>r_s</i>	-0.61	0.05	0.00	0.33	0.01	-0.43	-0.81	-0.19	0.56

ской равнины. В табл. 1 представлены коэффициенты корреляции Пирсона и Спирмена. Общее количество точек 2972, статистически значимыми с доверительным уровнем 95% являются коэффициенты большие или равные по модулю 0.04. Для мерзлотных процессов, которые имеют строго ограниченную область распространения в северной части равнины, приводятся также коэффициенты корреляции, вычисленные только для этой области.

Отметим, прежде всего, что различия между двумя коэффициентами не очень велики и в большинстве случаев не превышают 0.1. Коэффициенты Спирмена, как правило, показывают несколько более тесную связь, но в целом оба типа коэффициентов корреляции рисуют схожую картину зависимостей между процессами и внешними условиями.

Для глубины эрозионного расчленения фиксируется слабая прямая связь с абсолютными высотами, с градиентами средних высот, с неотектоническими движениями. Густота расчленения обнаруживает заметную отрицательную корреляцию с продолжительностью теплого периода, более слабую, но положительную – со стоком и весьма слабую с высотами и градиентами новейших движений. Заболоченность имеет слабую обратную связь с высотой и прямую связь с осадками и стоком. Мерзлотные процессы, пучение и термокарст, имеют схожие особенности связей – сильную обратную с продолжительностью теплого периода, более слабую с высотой и залесенностью, примерно такую же, но прямую со стоком. Если из рассмотрения исключить все территории, где мерзлотные процессы вообще отсутствуют, то их корреляция с высотами, стоком и температурными условиями оказывается слабее, чем для всей территории, а с залесенностью и осадками сильнее.

Среди независимых переменных наиболее тесные, в среднем, связи с характеристиками процессов проявляют показатели абсолютной высоты и температуры. Плотность активных разломов совершенно не коррелирована с зависимыми переменными, что, кстати говоря, совпадает с результатом, полученным ранее для Русской равнины [9]. Весьма слабые связи с зависимыми переменными у градиентов рельефа и новейших движений. Сами амплитуды новейших движений проявляют заметную связь только с глубиной расчленения.

О характере связей при невысоких значениях *r* дает представление рис. 1, на котором изображена зависимость *h* от *Nt*. Большой разброс точек относительно линии регрессии наглядно показывает, что влияние *Nt* ответственно лишь за небольшую часть изменений *h*.

Следует сразу же подчеркнуть, что сам факт существования корреляции между двумя параметрами еще не означает действительного влияния одного параметра на другой. Поскольку каждая из зависимых переменных определяется множеством

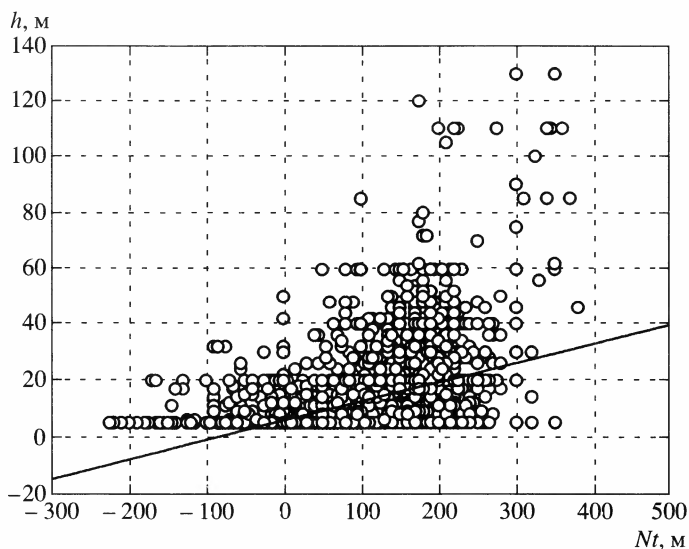


Рис. 1. Зависимость h от Nt . Наклонная линия отвечает уравнению регрессии

факторов, их сложное взаимодействие может порождать чисто формальные корреляции, не отражающие реального влияния независимых переменных, или, наоборот, затушевывать его. Но общее представление о фактически существующих соотношениях между рассматриваемыми экзогенными процессами и факторами в пределах данной территории парные коэффициенты все же дают.

Частная корреляция. Для оценки степени влияния одних переменных на другие интересно проанализировать частные коэффициенты корреляции, показывающие связь зависимой переменной с каждой из независимых при условии как бы “постоянства” остальных независимых переменных, то есть с учетом их связей с зависимой. В этом смысле частная корреляция более адекватно отражает реальное взаимодействие переменных. Однако в некоторых случаях учет других переменных может привести и к занижению оценки действительно существующей связи. Например, если две переменные a и b связаны так, что a сильно влияет на b , т.е. изменения b при постоянном a маловероятны, а переменная b , в свою очередь, непосредственно влияет на c , то коэффициент частной корреляции между c и b с учетом влияния a ($r_{c,b(a)}$) может оказаться близким к 0 или, по крайней мере, существенно меньшим, чем коэффициент парной, $r_{c,b}$, и будет худшей мерой влияния переменной b на c , чем последний. В какой-то мере этот случай относится к переменным h и Nt , а также grH и $grNt$. Высоты рельефа в значительной степени определяются новейшими движениями (как и градиенты), и при учете влияния последних роль гипсометрии занижается. Поэтому для переменных h и b , имеющих наибольшие связи с высотами, мы дополнительно приводим величины частных коэффициентов корреляции, полученных с исключением Nt и $grNt$ из набора переменных.

В табл. 2 кроме частных коэффициентов корреляции приведены также коэффициенты множественной регрессии R и коэффициенты детерминации R^2 ; последние соответствуют доле дисперсии зависимой переменной, обусловленной совокупностью независимых переменных. Из таблицы видно, что частная корреляция во многих случаях имеет существенно иной характер, чем парная. Абсолютные значения коэффициентов в основном меньше, чем у парных, в некоторых случаях они даже имеют другой знак. Рассмотрим несколько наиболее ярких примеров.

Частные коэффициенты корреляции

Зависимые переменные	Независимые переменные										
	<i>H</i>	<i>grH</i>	<i>Nt</i>	<i>grNt</i>	<i>D</i>	<i>F</i>	<i>T</i>	<i>P</i>	<i>O</i>	<i>R</i>	<i>R</i> ²
<i>h</i>	0.23	0.13	0.22	0.11	-0.01	0.24	0.20	-0.01	0.10	0.57	0.32
	0.33	0.22			0.01	0.26	-0.24	0.00	-0.08	0.53	0.28
<i>d</i>	0.18	0.05	0.04	-0.01	0.02	0.26	-0.45	-0.14	-0.07	0.72	0.52
<i>b</i>	-0.23	0.00	-0.17	-0.13	-0.02	-0.16	0.16	0.31	0.11	0.64	0.41
<i>Tk</i>	-0.13	0.00	0.19	-0.07	0.17	-0.38	-0.47	-0.01	0.06	0.78	0.77
<i>Tk</i> > 0	-0.18	-0.04	0.13	-0.10	0.17	-0.50	0.02	-0.08	0.17	0.71	0.50
<i>Cr</i>	-0.11	-0.09	0.37	-0.01	0.08	-0.39	-0.57	0.00	-0.15	0.89	0.79
<i>Cr</i> > 0	-0.13	-0.05	0.41	-0.09	0.02	-0.44	-0.37	0.06	0.10	0.83	0.69

Для глубины расчленения, *h*, наиболее значимыми показателями, согласно табл. 1, являются *Nt*, *grH*, *H* и *grNt*. Частная корреляция с этими параметрами существенно ниже, чем парная, поскольку они коррелированы между собой (например, $r_{H, Nt} = 0.41$, $r_{grH, grNt} = 0.46$). Все они, кроме того, имеют положительную связь с глубиной расчленения, поэтому вклад каждого из них в изменчивость *h* оказывается меньше при учете вклада остальных. В варианте, когда *Nt* и *grNt* исключены из рассмотрения, частная корреляция *h* с *H* и *grH* также уменьшается по сравнению с парной, но не настолько сильно. Вместе с тем коэффициент множественной корреляции по всем девяти независимым переменным не очень мал (0.57), и обусловленная ими доля дисперсии *h* достигает 32%. Переменные *H*, *Nt*, *F* и *T* имеют наибольшие по модулю частные коэффициенты и, следовательно, оказывают наибольшее влияние на изменчивость *h*.

Интересно отдельно рассмотреть соотношения между глубиной расчленения и величинами H_{max} и H_{min} . Последние можно рассматривать как отметки вершинной и базисной (или цокольной) поверхностей, полученные с шагом 20' по широте и 30' по долготе. Парные коэффициенты корреляции таковы: $r_{h, H_{max}} = 0.48$, $r_{h, H_{min}} = 0.00$. Существенная разница в связи вершинной и базисной поверхностей с глубиной расчленения на первый взгляд не очень ясна, поскольку обе эти поверхности имеют схожую в общих чертах морфологию. Частные коэффициенты корреляции (рассчитанные только для трех переменных *h*, H_{max} , H_{min}) дают другую картину: $r_{h, H_{max}(H_{min})} = 0.68$, $r_{h, H_{min}(H_{max})} = -0.54$. Заметная отрицательная связь *h* с H_{min} при фиксированной H_{max} подчеркивает, что положение базисной поверхности определяется глубиной расчленения, а не наоборот: чем больше глубина вреза, тем меньше высота базисной поверхности. Поэтому именно вершинная поверхность, H_{max} , а не базисная, является "управляющим" параметром для *h*. Вследствие этого вершинная поверхность оказывается лучшим "предиктором" для *h*, чем средняя высота, которая ведь зависит и от H_{min} . Поэтому, если в набор девяти независимых переменных вместо *H* включить H_{max} , то R^2 возрастает до 39%, а частный коэффициент корреляции *h* с H_{max} составит 0.38.

Залесенность территории, *F*, предположительно ослабляет эрозию и должна была бы иметь отрицательную связь с расчленением. В действительности фиксируется слабая положительная корреляция *h* с *F*, которая, по-видимому, отражает позитивное, в условиях Западной Сибири, влияние расчлененности на лесную растительность (улучшение дренажа, спуск озер, болот) и не зависит от действия других факторов: частный коэффициент совпадает с парным.

Обращает на себя внимание обратная связь h с продолжительностью *теплого периода*, T . По интенсивности она сравнима с влиянием H и Nt , однако смысл ее не ясен. Если эта связь не случайна, а отражает действительное влияние температурных условий на интенсивность глубинной эрозии, то, возможно, оно осуществляется через литологию – путем более интенсивного врезания рек в высокольдистые мерзлые породы.

Приведенные оценки R^2 показывают, что рассмотренных нами характеристик все-таки недостаточно для удовлетворительного описания пространственной изменчивости h . Из оставшихся примерно двух третей необъясненной изменчивости большая часть, по-видимому, связана с такими факторами, как возраст долин, водность рек, литология. Какая-то доля обусловлена, конечно, случайными отклонениями и, может быть, еще какими-то неизвестными причинами.

Густота расчленения, согласно табл. 1, имеет слабую отрицательную связь с высотой, но при частной корреляции эта связь оказывается хотя и очень слабой, но положительной, что более соответствует вероятному влиянию абсолютной высоты на интенсивность расчленения, в том числе и на ее густоту. Отрицательная парная корреляция обусловлена тем, что наибольшая густота расчленения за счет вклада мерзлотно-эрозионных процессов приурочена к холодным северным районам с многолетней мерзлотой, которые одновременно занимают и более низкие гипсометрические ступени равнины. Учет этих соотношений при вычислении частных коэффициентов корреляции выявляет действительную, прямую, хотя и крайне слабую связь между d и h . Использование H_{\max} вместо H показывает, что для густоты расчленения максимальные высоты более значимы, чем средние, как и для глубины. Сохраняется заметная отрицательная связь d с продолжительностью теплого периода и слабая положительная с залесенностью. Коэффициент множественной регрессии существенно выше, чем для глубины расчленения, и доля объясненной дисперсии составляет больше половины.

При рассмотрении заболоченности обращает на себя внимание изменение знака ее связи с залесенностью от плюса на минус при переходе от парной к частной корреляции. Если в первом случае слабая положительная связь отражает общую приуроченность лесной и болотной зон к определенным климатическим условиям, то частная корреляция, в которой это влияние климата уже учтено, показывает некоторый антагонизм леса и болот в пределах общей области их развития. Любопытно также, что влияние градиентов рельефа ничтожно мало, особенно в частной корреляции. Региональные уклоны земной поверхности, которые отображает величина grH , никак не сказываются на пространственном распределении процессов болотообразования. Как известно, выровненность рельефа рассматривается в качестве одного из важнейших факторов интенсивного развития болот в Западной Сибири [10], но, очевидно, его влияние проявляется на других пространственных уровнях: с одной стороны, для равнины в целом, слабо расчлененной по сравнению с другими территориями со сходными климатическими условиями, а с другой – на уровне локальных различий склонов и плоских участков (плакоров, днищ), для учета которых параметр grH слишком груб. Последнее подтверждается тем, что если использовать просто величину $dH = H_{\max} - H_{\min}$ – хотя и неточную, но пространственно более детальную характеристику контрастов высот, – то связь ее с заболоченностью сильнее, чем у grH : $r_{b, dH} = -0.37$, а коэффициент частной корреляции равен -0.29 . Исключение переменных Nt и $grNt$ усиливает отрицательную корреляцию с H .

Коэффициент детерминации для b достигает 41%. Так же как и для h и d , он не слишком велик и значительная часть пространственной изменчивости этого показателя остается “необъясненной” использованным набором независимых переменных.

Для *мерзлотных процессов*, Cr и Tk , при переходе к частной корреляции наблюдаются однотипные изменения характеристик связи. Их отрицательная парная корреляция с высотой и залесенностью вызвана, очевидно, в основном наличием отрицательной корреляции H и F с T . С учетом этих соотношений она, как и следовало

ожидать, уменьшается: с H – почти до нуля, с F – не так сильно. Тем не менее множественная корреляция оказывается высокой – почти 80% изменчивости Cr и Tk могут быть объяснены изменчивостью использованных параметров. Такой высокий уровень множественной корреляции прежде всего обусловлен тем, что сама область распространения криогенных процессов и термокарста приурочена к области развития многолетнемерзлых пород, положение которой в условиях равнины почти строго зонально и климатически предопределено. Если ограничиться рассмотрением корреляции в пределах только этой зоны, исключив области, где мерзлотные процессы вообще отсутствуют, то коэффициенты детерминации заметно уменьшатся (табл. 2) и частная корреляция с T тоже окажется слабее. Это означает, что рассматриваемые нами внешние, независимые параметры довольно хорошо определяют положение зоны мерзлотных процессов в целом на равнине, но внутри самой этой зоны локальная изменчивость указанных процессов описывается данным набором параметров хуже.

Интересна связь Cr и Tk с залесенностью, F , вполне отчетливо прослеживающаяся в парной корреляции. Можно предположить, что она носит опосредованный характер и вызвана не влиянием лесного покрова на интенсивность процессов, но общим влиянием многолетней мерзлоты на то и другое. Однако она остается на довольно высоком уровне и в частной корреляции. Особенно велика роль этого показателя при рассмотрении только северной зоны, где соблюдается условие $Tk > 0$. Сравнение частных коэффициентов корреляции для этого случая показывает, что залесенность оказывается наиболее информативным признаком даже при учете влияния остальных независимых переменных (табл. 2). Вероятно, такая связь отражает не только консервирующее действие лесной растительности на поверхность, но и негативное влияние процессов термокарста и криогенных на развитие лесной растительности.

Наконец, отметим существование очень слабой положительной связи Tk с плотностью активных разломов. Коэффициент частной корреляции в обоих вариантах равен 0.17. Данный случай – единственный, когда корреляция с D достигает такой величины, хотя, конечно, это очень слабая связь. Механизм возможного влияния здесь неясен. Можно предположить, что активные разломы как зоны выхода на поверхность глубинных флюидов повышают температуру пород, понижая устойчивость мерзлых толщ и способствуя в определенных условиях развитию термокарстовых явлений. Однако корреляция слишком слаба, чтобы уверенно говорить о действительном влиянии такого рода.

Пространственные особенности связей. Хотя коэффициенты частной корреляции существенно уточняют картину реальных взаимоотношений между зависимыми и независимыми переменными, они, как и коэффициенты парной, вычислялись для всей территории Западной Сибири (или ее северной половины), что, очевидно, приводит к усреднению пространственных особенностей связей. Такие сложные явления, как процессы экзоморфогенеза, определяемые множеством факторов, как правило, имеют неоднородную в пространстве связь с этими факторами. Используя прием вычисления коэффициента корреляции в скользящем окне того или иного радиуса, можно получить картину пространственных закономерностей корреляции. (В данном случае мы использовали обычный коэффициент корреляции из-за чрезвычайной громоздкости вычислений частных коэффициентов в скользящем окне). Рассмотрим два примера: связь глубины расчленения с H_{\max} – показателем, имеющим наиболее сильную парную корреляцию с h ($r = 0.48$), и связь интенсивности термокарста с продолжительностью теплого периода ($r = -0.44$ для совокупности ячеек с $Tk > 0$). Радиус скользящего окна, в котором вычисляется r , равен 5 ячейкам, в пределы окна входит 97 точек, вблизи границ число точек может быть меньше, но r вычисляется, если их не менее половины. Значение r приписывается центральной ячейке и показывает степень связи в пределах данной круговой области. (В северной части территории из-за сужения трапеций градусной сети скользящее окно сужается в

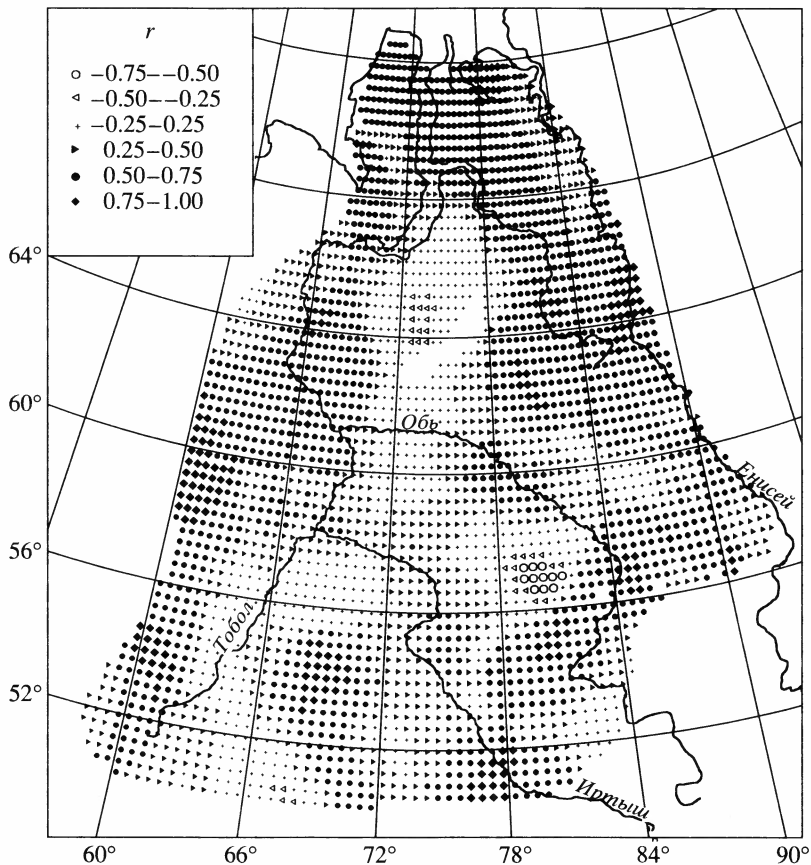


Рис. 2. Пространственные особенности корреляции между глубиной расчленения и полем максимальных высот на территории Западно-Сибирской равнины и северной части Казахского щита (пояснения в тексте)

широтном направлении и из кругового превращается в эллиптическое, что, однако, заметным образом не меняет результатов). Значения по модулю меньше 0.25 рассматриваются как практическое отсутствие связи, поскольку по формальным критериям статистически значимыми на 5%-ном уровне при 97 точках являются значения $r > 0.20$.

Корреляция h с H_{\max} изображена на рис. 2. Хотя при оценке степени связи для территории Западной Сибири в целом северная часть Казахского щита не включалась в рассмотрение, сейчас для полноты картины она добавлена. Из рисунка отчетливо видно явное преобладание по площади прямой связи. Значения r в интервале от 0.5 до 0.75 встречаются весьма часто. Наиболее тесная связь ($r \geq 0.75$) фиксируется преимущественно в краевых зонах равнины, примыкающих к Уралу, Среднесибирскому плоскогорью, Казахскому щиту, горам Восточного Казахстана, а также на севере Гыданского п-ова и Ямала. Несколько областей высокой связи располагаются и в центре равнины. Все эти области характеризуются более или менее повышенными по сравнению с остальной территорией значениями глубины расчленения, а также величинами региональных градиентов рельефа и, особенно, градиентов неотектонических движений.

Области отсутствия связи или отрицательной корреляции в основном совпадают с областями минимальной глубины расчленения, приуроченными, по большей части,

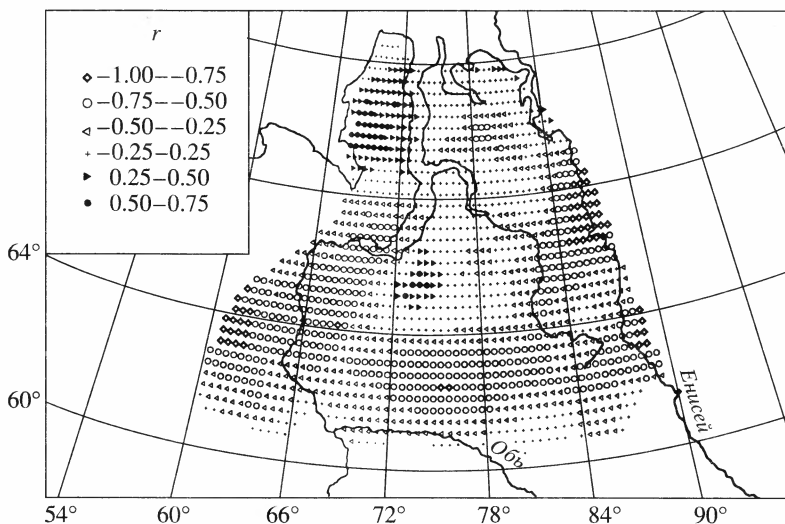


Рис. 3. Пространственные особенности корреляции между интенсивностью термокарстового процесса и продолжительностью безморозного периода на территории Западно-Сибирской равнины (пояснения в тексте)

к внутренним районам с малыми градиентами высот и новейших движений. В южной половине равнины эти области соответствуют зоне раннеплейстоценовой аккумуляции – наиболее сниженной в ту эпоху части равнины [11]. Это участки Тургайского плато, Ишимская, Васюганская и Кетско-Тымская субгоризонтальные равнины, на севере – центральная часть Сибирских Увалов и Хетская возвышенность. Глубина долин в наиболее высоких водораздельных частях этих крупных морфоструктур, в основном четвертичного возраста, меньше, чем на их склонах, что и порождает отрицательную корреляцию или отсутствие связи.

Сходная картина фиксируется и для корреляции густоты эрозионного расчленения с H_{\max} . В целом она как бы повторяет изображенную на рис. 2, но с некоторым сокращением областей прямой связи, то есть этот тип связи тоже преобладает, но не так заметно доминирует, как для глубины расчленения. Отметим также, что пространственные особенности корреляции глубины и густоты расчленения, а также показателя интенсивности расчленения, равного $d \cdot h$, с амплитудами новейших движений в общих чертах те же, что и вышеописанные. Этот результат соответствует ранее высказанному мнению Г.С. Ананьева [12] о невозможности использовать показатели эрозионного расчленения для оценки амплитуд новейшей тектоники на слаборасчлененных водоразделах Западной Сибири.

Сильная пространственная дифференциация тесноты связи показывает, что отклик эрозионной сети на изменения высоты рельефа не однозначен и зависит от многих других факторов. В частности, описанные выше особенности отражают, по-видимому, различные стадии освоения поднятий линейной эрозией.

Другой любопытный пример неоднородности связей можно увидеть на рис. 3, где изображена пространственная картина корреляции между интенсивностью термокарста и продолжительностью безморозного периода. На большей части территории связь отрицательна, что вполне естественно, но при движении к северу она начинает замещаться положительной. Похолодание климата способствует развитию термокарстовых процессов лишь до известного предела, за которым дальнейшее сокращение безморозного периода не усиливает, а наоборот, тормозит эти процессы.

Заключение

Из рассмотренных факторов, влияющих на интенсивность экзоморфогенеза Западно-Сибирской равнины, наибольший вклад в пространственную изменчивость процессов вносят абсолютные высоты рельефа, амплитуды новейших движений и температурная характеристика – продолжительность безморозного периода. Залеженность территории, корреляция которой с характеристиками процессов тоже довольно высока, сама в значительной степени находится под их влиянием. Суммарная зависимость различных экзогенных процессов от комплекса факторов довольно высока: для мерзлотных и термокарстовых процессов доля объясненной дисперсии достигает 79 и 77% соответственно, хотя для эрозионных процессов и болотообразования она существенно меньше – аналогичные оценки для глубины и густоты расчленения составляют 32 и 52%, для заболоченности – 41%. Очевидно, для более полного объяснения изменчивости экзогенных процессов необходимо учитывать ряд факторов, не использованных в данной работе – литологический, возрастной и другие. По-видимому, сказывается также и недостаточная пространственная детальность и неточность исходных данных.

Вместе с тем, эти оценки (как и другие рассмотренные в тексте коэффициенты) являются усредненными по всей территории равнины. В разных ее частях можно выделить области со значительно более тесной связью между процессами и факторами и области отсутствия связи. Подробный анализ таких особенностей выходит за рамки данной работы, однако, ясно, что для исчерпывающего описания региональных закономерностей влияния того или иного фактора на экзогенные процессы он необходим.

В методическом отношении следует подчеркнуть, что при корреляционном анализе связей между различными многофакторными природными процессами целесообразно пользоваться не только коэффициентами парной корреляции, но учитывать и частную корреляцию, которая во многих случаях более адекватно отражает влияние одних факторов или процессов на другие. По-видимому, объединение приема скользящего окна с вычислением частных коэффициентов корреляции и коэффициентов множественной регрессии может дать интересные результаты, выявляя области сильной обусловленности процессов природными факторами или области отсутствия такой обусловленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федина А.Е. Влияние абсолютной высоты на количественные показатели физико-географических комплексов // Вестн. МГУ. 1966. № 4. С. 65–71.
2. Карта новейшей тектоники Северной Евразии в м-бе 1:5000000 / А.Ф. Грачев. М.: ГЕОС, 1997.
3. Карта активных разломов Северной Евразии. М-б 1:5000000 / В.Г. Трифонов. М.: ГИН, 1995.
4. Климатический атлас СССР. М.: ГУГК, 1960.
5. Карта эрозионной опасности территории СССР. М-б 1:2500000 / Д.А. Тимофеев. М.: Фонды ИГРАН, 1985.
6. Карта современных геологических процессов и инженерно-геологических явлений. М-б 1:1000000 / В.Т. Трофимов. 1979.
7. Геокриологические условия Западно-Сибирской низменности. М.: Наука, 1967. 214 с.
8. Бронгулеев В.Вад. О построении карт структурного соответствия рельефа земной поверхности и фундамента Восточно-Европейской платформы // Геоморфология. 1977. № 4. С. 44–52.
9. Бронгулеев В.Вад., Жидков М.П., Трифонов В.Г. Активные разломы и интенсивность экзогенных процессов на Русской равнине // Геоморфология. 1998. № 2. С. 3–13.
10. Караваева Н.А. Заблачивание и эволюция почв. М.: Наука, 1982. 296 с.
11. Архипов. С.А. Четвертичный период в Западной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1971. 331 с.
12. Ананьев Г.С. Связь показателей глубины и густоты расчленения рельефа с проявлениями новейшей тектоники // Вестн. МГУ. 1966. № 4. С. 115–117.

THE EVALUATION OF DIFFERENT FACTOR INFLUENCE ON THE INTENSITY OF EXOGENOUS PROCESSES IN THE WEST SIBERIA

V.VAD. BRONGULEYEV, A.G. MAKARENKO

Summary

Amongst the correlation of exogenous processes with the factors affecting their intensity the highest ones are those with the absolute heights, amplitudes of neotectonic movements, and endurance of warm period. The percent of forest cover, having middle correlation with some processes, itself suffers their influence. The total dependence of exogenous processes on 9 external factors, used in this work, differs from relatively high to low: the determination coefficients for thermokarst and cryogenic processes reach up to 77% and 79%, for the density and the dept of erosion dissection they consist 52% and 32% correspondingly, for swamp development – 41%. The analysis of partial correlation gave some additional interesting results, which proved this type of correlation to be very important while investigating the multifactor processes. In some cases (but not in all) it gives more adequate evaluation of real factor impact on exogenous processes intensity.

УДК 551.435.11

© 2004 г. К.М. БЕРКОВИЧ

УСТОЙЧИВОСТЬ И ДЕФОРМАЦИИ РУСЕЛ РАВНИННЫХ РЕК¹

Русла рек, которые мы можем наблюдать в настоящее время, являются результатом длительного развития, измеряемого отрезками не только исторического, но и геологического времени. Последние несколько тысяч лет все возрастающую роль в преобразовании ландшафтов Земли играет деятельность человека. Это не могло не сказаться на формировании речных русел. Можно оставить в стороне речные системы, преобразованные в каскады водохранилищ, где речные русла с их законами перестройки просто исчезают. Среди видов воздействия человека на русла рек выделяются: 1) изменения ландшафтных условий бассейна, вида землепользования, урбанизация, сооружение коммуникаций; 2) спрямление русел, увеличение их пропускной способности, противопаводковое обвалование, добыча аллювия и разработка россыпей, сооружение плотин, заборы воды на хозяйственные нужды и переброска ее из одних бассейнов в другие.

Анализ картографических материалов, относящихся к XVII–XIX вв., показывает, что в регионах, где не было коренного искусственного изменения рисунка русел рек, их морфологический облик остается практически неизменным до настоящего времени. Речные русла, как элементы морфологической системы, обладают определенной временной устойчивостью, позволяющей им приспосабливаться в довольно широких пределах к изменениям внешних факторов [1]. Морфодинамический тип русла может считаться устойчивой и консервативной характеристикой, отвечающей широкому диапазону природных условий; вероятно, для изменения типа русла требуется очень существенное изменение природных условий на протяжении длительных отрезков времени. Таковыми могут быть, например, периоды наступания и отступления материковых оледенений. Характерно, что уже в середине голоцена морфологический облик многих рек был подобен современному, о чем свидетельствует рельеф их пойм. Об условиях формирования того или иного типа русла мы можем догадываться, детально анализируя природные условия, в которых мы их обнаруживаем в настоящее время. Однако, поскольку тип русла инерционен, такого соответствия может и не быть. Несоответствие типа русла природным условиям усиливается вследствие значительного антропогенного нарушения многих рек.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 01-05-64284).