

О ГЕНЕЗИСЕ «ГИГАНТСКОЙ РЯБИ» В КУРАЙСКОЙ КОТЛОВИНЕ ГОРНОГО АЛТАЯ

А.В. Поздняков, А.В. Хон

Институт оптического мониторинга СО РАН, Томск

В статье, с позиций динамики русловых потоков, теории русловых процессов и геоморфологии, анализируется широко распространенная гипотеза о дилuviальном происхождении гряд «гигантской ряби». На основании проведенных экспедиционных исследований предлагаются ряд альтернативных гипотез формирования грядовых форм рельефа, относящихся к Курайской котловине, частности, авторы статьи склоняются отдать предпочтение мерзлотно-эрозивной гипотезе формирования грядового рельефа в Курайской котловине.

Проблема флювиогляциальных катастроф привлекает внимание ученых разных стран в силу практической ее значимости. Для познания механизмов их развития и пространственно-временной изменчивости недостаточно только наблюдений за их протеканием в настоящее время. Важные закономерности могут быть раскрыты в результате изучения палеокатастроф, при этом можно увидеть элементы, не проявляющиеся в современных процессах, но могущие получить развитие в будущем, например в связи с происходящим потеплением климата. Понятно, что изучение флювиогляциальных катастроф, имевших место тысячелетия назад, возможно лишь по реликтам форм их проявления. Формы же в течение времени видоизменяются экзогенными процессами настолько, что информация об их генезисе полностью стирается и сохраняется лишь в стратиграфической последовательности отложений, слагающих форму. Но и она со временем искажается. Поэтому вопрос адекватного отображения, поиска соответствия формы ее содержанию имеет первостепенное методологическое значение. Допущение здесь ошибки уводит решение задачи в область фантастических упражнений. Очевидно, что рассматривать развитие геосистем как самостоятельно развивающийся процесс, сопровождающийся мгновенными (катастрофическими) количественными и качественными изменениями динамики процессов и форм их проявления, как независимый от развития других систем, образующих среду и, следовательно, условия, – значит, заведомо прийти к неадекватному отображению и его сути, и действительной последовательности не только пространственно-временных событий, но и организации структуры самого процесса и структуры системы, частью которой он является. Современные представления о флювиогляциальных катастрофических паводках, происходивших в Горном Алтае и оставивших следы в виде так называемых «гигантских знаков ряби», «гигантских гряд», якобы являющихся следами деятельности гигантских водных потоков, на наш взгляд, из ряда таких неадекватных отображений действительности.

По-видимому, первыми, чей интерес вызвал грядовой рельеф на террасах и в пределах аккумулятивных равнин в долинах рек Катунь и Чуи, были Г.Ф. Лунгерсгаузен и О.А. Раковец [11], которые предположили флювиальный генезис этих форм, относя их к аккумулятивным динамическим донным формам, образовавшимся водными потоками. Они, в частно-

сти, отмечали, что «гигантская рябь» – это следы мощной пра-Чуи.

В последнее десятилетие интерес к грядовому рельефу возрос, и, по мнению его исследователей [1, 2, 17, 18, 19], эти формы являются прямым доказательством неоднократно происходивших катастрофических паводков. Феномен в виде сохранившихся позднечетвертичных гигантских грядовых русловых форм и выводы о катастрофических паводках, формировавшихся вследствие прорыва подпрудных ледниковых или селевых плотин, получили широкую известность не только в нашей стране, но и за рубежом. Появились публикации американских ученых, выводы которых опираются на признании флювиального генезиса гряд как неопровержимого самоочевидного факта [23, 24, 25]. Суждения как российских, так и зарубежных ученых таковы: курайские гряды и подобные им морфологические образования в других районах Горного Алтая есть не что иное, как сохранившиеся следы русловой деятельности поистине гигантского руслового потока, с расходами воды более 700000 м³/сек (по данным А. Рудого, до 18 млн м³/сек), глубиной более 40 м, шириной 2–3 км и скоростью течения более 8 м/сек [24]. А В.В. Бутвиловский [2] считает, что глубины потока превышали 50 м, скорости течения достигали 25 и даже 58 м/сек. Удивительным в этих работах является то, что их авторы не рассматривают альтернативные варианты генезиса гряд, не увязывают их развитие с другими процессами; эти исследования практически игнорируют теоретические достижения гидродинамики, позволяющие с достаточной полнотой определить границы возможности образования русловых грядовых форм решением обратной гидродинамической задачи.

Вышеназванные авторы в своих выводах опирались на методологически недопустимые в научном исследовании логические построения – ложный силлогизм (антиномии). Их рассуждения таковы: курайские гряды морфологически подобны ряби, формирующейся течением водных потоков, следовательно, они ими и создавались; параметры же потока должны соответствовать параметрам гряд и гранулометрическому составу слагающих их отложений. На основе этих суждений с помощью несложных расчетов ими делается вывод: «Максимальные расходы воды при прорывах крупнейших в горах Алтая Чуйского и Курайского ледниково-подпрудных озер составляли около 18 млн м³/сек. Мгновенные скорости потока превыша-

ли 40 м/сек, а глубины суперпаводка достигали 400 м. Это были самые крупные известные потоки пресной воды на Земле» [19].

Данное суждение ошибочное, оно противоречит законам физики и опыту. Оно не учитывает того обстоятельства, что сопротивление движению воды растет пропорционально росту скорости ее течения. Даже при свободном падении в неподвижном воздушном пространстве, из-за сопротивления воздуха, ускорение свободного падения капель воды (и даже шрапнели, сброшенной с высоты 2000 м) убывает до нуля, при достижении скорости движения 55 м/сек. Согласно проводившимся опытам, они падают со скоростью 8–10 м/сек. Вышеприведенные выводы не согласуются и с другими положениями гидродинамики.

Изоморфизм в природе – не исключительное явление. Но по палеоформам судить о содержании процесса, результатом которого они являлись, можно только в том случае, если их морфометрические характеристики имеют полное соответствие с характеристиками создававшего формы процесса. Однако такого соответствия в данном случае не наблюдается.

Проведенные нами в небольшом объеме экспедиционные исследования «гигантской ряби» в Курайской степи, а главное – теоретический анализ и обобщения позволяют нам высказать ряд серьезных замечаний как к представлениям о механизме формирования «гигантской ряби», так и к выводам, касающимся реконструкции палеогидрологических и палеогеоморфологических процессов.

В основу выводов положен фактический материал, полученный в результате широкомасштабных экспедиционных исследований по изучению закономерностей эрозионно-аккумулятивных процессов на горных и равнинных реках Дальнего Востока (Приамурье), проводившихся одним из авторов статьи в процессе геологической съемки. Наблюдениями были охвачены реки общей протяженностью более 2000 км, начиная от их истоков, временных потоков и кончая устьями. На некоторых участках рек, помимо маршрутного описания с расстоянием между точками наблюдений 100–200 м, проводились инструментальные измерения скоростей течения, расходов воды в межень и в паводки, мензульная съемка. Одновременно осуществлялись на физических моделях экспериментальные исследования процессов самопроизвольной трансформации свободных турбулентных струй в ограниченные потоки. Часть результатов исследования опубликована [13, 14].

Река – природный автомат

Не ставя целью дать всестороннюю характеристику процессов саморегулирования в речных потоках, покажем лишь основные схемы функционирования системы «поток – русло» как природного автомата.

Скоростное поле руслового потока находится во взаимобусловливаемой связи с крупностью русло-

формирующего аллювия, в виде соотношения его скорости течения v и гидравлической крупности обломочных частиц – w . Это соотношение определяет три качественно различающихся поведения обломков в турбулентном потоке:

– при $v \gg w$ – обломочные частицы перемещаются во взвешенном состоянии; это скорости, превышающие 8–10 м/с. Аккумулятивные подвижные формы на дне русла не могут образоваться, и поток, по существу представляя собой смесь твердых частиц с водой, приобретает качественно иные свойства – например, высокую абразивную способность;

– при $v \geq w$ – обломочные частицы перемещаются преимущественно путем сальтации;

– при $v < w$ – обломочный материал перемещается по дну качением и волочением. Именно при данных соотношениях v и w транспортируемый обломочный материал собирается в движущиеся по течению гряды.

Начальным толчком к образованию грядовой формы движения обломочного материала, по нашему мнению, основанному на измерениях скорости течения в придонной части руслового потока, является образование отрывных струйных течений, обусловливаемых неустойчивостью турбулентного потока, закономерно порождающей развитие колебательного процесса. Даже в лотке с гладкими стенками турбулентный поток становится волновым. Волновые движения можно наблюдать с помощью простых экспериментов, например, пуская по хорошо смачиваемой слабонаклонной поверхности тонкий слой воды. Те же эффекты возникают при стекании воды во время дождя по слабонаклонной покрытой асфальтом поверхности. В этих случаях движение воды выражается в дискретно-волновой форме: она не стекает тонким слоем равномерно, а группируется в бегущие друг за другом волны.

Волновые движения руслового водного потока в значительной мере обуславливаются турбулентностью и неровностями дна. Если на дне какого-либо участка русла (рис. 1) случайным образом появляется возвышение, вызывающее сжатие струи и отклонение струй на некоторый угол α по отношению к уклону дна, то, помимо увеличения скорости, ниже участка сжатия, струи будут подходить к поверхности дна под некоторым углом, близким α . Известно, что в таком случае ниже будет наблюдаться возрастание плотности кинетической энергии (вода несжимаема, поэтому физический смысл понятия «сжатие струи» состоит в уменьшении площади поперечного сечения струи за счет увеличения ее скорости). Для турбулентных струйных водных потоков определяющей динамике русловых процессов является их способность к расширению/сжатию вне зависимости от сечения русла. Увеличение скорости течения потока, например вследствие увеличения уклона дна или уменьшения трения (шероховатости), ведет к самопроизвольному сжатию струи, и ее площадь поперечного сечения становится меньше таковой русла. Эффект самопроизвольного свободного сжатия потока можно наблюдать во время

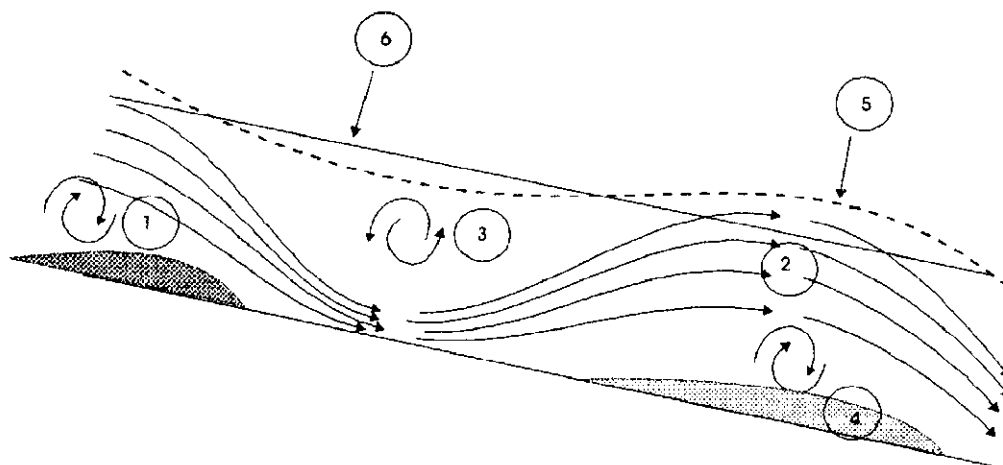


Рис. 1. Схема формирования грядовой формы движения обломочных частиц.

1 – участок русла с выступом на дне, вызывающим сжатие струи и увеличение V ; 2 – участок образования отрывного течения; 3 – участок формирования сжатой отраженной струи (изменяющей направление течения относительно оси); размыв дна; 4 – зона отрыва струи от дна, декомпрессии, снижения скоростей течения и формирования аккумулятивного тела гряды; 5 – искривление водной поверхности; 6 – первоначальная водная поверхность

паводков, когда поверхность потока становится выпуклой. На таких участках происходит врезание потока в поверхность дна с образованием бермы – зачатка поймы. На участке 3 русла (см. рис. 1) максимальная скорость течения – около дна, а минимальная – у поверхности. При этом наблюдается ясно выраженный прогиб поверхности водного потока. Одновременно на этом участке формируется отраженная (от поверхности дна) сжатая струя, и направление ее становится не параллельным дну, а под углом к нему, кверху, к свободной поверхности потока. Поэтому струя отрывается от дна (участок 2), а поверхность потока становится выпуклой. Распределение скоростей течения по глубине приобретает нормальный вид: с максимумом на поверхности и минимумом на дне. Более того, в придонной части образуется декомпрессионная зона (участок 4) – зона пониженных давлений (подобная той, которая наблюдается при прохождении ветровых волн), где и начинается аккумуляция обломочных частиц, давая начало формированию гряды. Таким образом, отклонение струй на каком-либо участке дна под углом вызывает образование ниже по течению серии синусоидальных волн – подвижных гряд.

При формировании гряд и особенно их перемещении наблюдается процесс закономерной дифференциации обломочного материала по гидравлической крупности: в гряде собираются обломки с характеристикой $\omega \geq U_d$ (U_d – скорость на дне), с постепенным изменением к $\omega = U_d$. Крупные обломки замываются («тонут») за счет известного аблювиального процесса, а мелкие выносятся на нижерасполагающиеся гряды и отлагаются на участках, где $\omega > U_d$.

В зависимости от конкретных условий формирования струйных течений и турбулентности, в механизме образования гряд и их динамики наблюдаются качественные различия.

Выделяются два типа гряд: неподвижные и перемещающиеся. Неподвижные гряды формируются на участках русла, где в течение длительного времени сохраняются условия для образования не смещающейся турбулентной струи. Обычно это участки сужения русла, образовавшиеся естественным путем, например в местах врезания реки в коренные породы, и искусственным – сужения русла на участках мостовых переходов или в устьях затопленных рек. Аккумуляция обломочного материала и формирование гряд происходит в конце турбулентной струи, на участке снижения скоростей течения. При этом определяющую роль играет степень размываемости стенок русла. В русле, формирующемся в коренных породах, аккумулятивные тела образуются в виде побочневых гряд. В таких случаях на участках изгибов русла в паводок ось струи распрямляется (за счет скоростного напора) и смещается к одному из бортов русла. Здесь, на окончании струи, и происходит аккумуляция обломочного материала в виде гряды-побочия. В межень побочневая гряда осушается, а поток скатывается к одному из бортов русла.

Иначе протекает процесс, если борта русла поддаются размыву. Если сужением потока создаются условия для формирования симметричной турбулентной струи, то по ее оси ниже ядра постоянных скоростей в паводок образуется симметрично построенное аккумулятивное тело-гряда, делящая русло и поток на две части. В межень, вследствие этого, единый поток делится на два потока, формирующих новые русла, соединяющиеся ниже в главное. Если берега русла сложены легкоразмываемыми породами, то процесс дихотомического деления русла может продолжаться, пока полностью не иссякнет поток в межень.

Важным обстоятельством описанного процесса, наблюдаемого повсеместно и проверенного на физи-

ческих моделях, является то, что аккумулятивные тела, формирующиеся на плесах по осям входящих в них струй, играют определяющую роль в бифуркации русла и формировании пойменной многоруканности и островных пойменных массивов.

Совершенно иные причины, механизмы формирования и динамика подвижных донных гряд.

В механике и технике известна и достаточно хорошо описана разновидность качения, названная «бегающим процессом механического типа движения деформируемых тел» [5, 6]. Это так называемые бегущие в одних случаях поперечные, в других – продольные волны деформации. Грядовое движение обломочного материала под воздействием текущей воды или ветра, несомненно, относится к типу бегущей поперечной волны деформации. Гряду при этом следует рассматривать как деформацию поверхности дна в виде поперечной волны – дно изгибается за счет аккумуляции обломочного материала, приобретающего форму волны. Естественно, что волновые деформации поверхности дна и бег волн не являются случайным, закономерным явлением. Это – результат спонтанно организующегося процесса, направленного к достижению минимума затрат энергии на производимую работу в конкретных условиях. В бегущей гряде-волне, сложенной обломочным материалом, как и в качении деформируемого тела или колеса, выделяется часть, находящаяся в неподвижном состоянии – это подошва гряды, часть поверхности дна (АС – на рис. 2), закрываемая грядой. Механизм перемещения гряд по существу является качением, аналогичным перемещению тракторных гусениц. При качении деформируемого тела часть его точек, соприкасающихся с поверхностью и образующих подошву, находятся в покое, а центр тела смещается в сторону движения (рис. 2). Механизм движения заключается в том, что частицы, слагающие тело, под воздействием лобового давления на них водного/воздушного потока, слой за слоем, мощностью, равной их диаметру, перемещаются к гребню волны, где скатываются под действием силы тяжести, образуя склоны крутизной, равной углу естественного откоса.

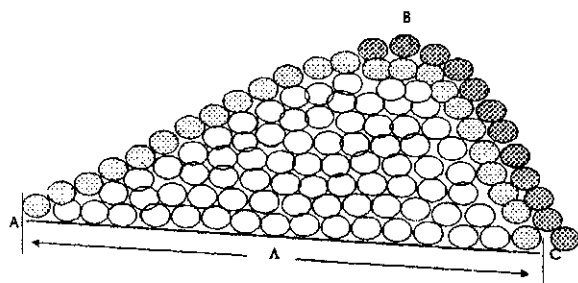


Рис. 2. Схема строения и кинематики подвижной гряды, образуемой водными или воздушными струйными потоками из обломочных частиц пород (поперечный разрез). λ – длина гряды (волны),

равная $\lambda = \sum_{A}^C d$, где d – диаметр обломочных частиц; АВС – длина на описывающей гряду кривой.

Грядовое движение обломочного материала – один из видов волнового движения, в данном случае – сыпучих частиц. И к этому виду движения применимы законы динамики механических волн. В частности, их можно характеризовать теми же параметрами, которыми описываются поперечные волны: длиной волны-гряды (λ), скоростью перемещения волны (c) и периодом движения – T . Таким образом, к этим волнам вполне применимо соотношение: $T = \lambda / c$ и вытекающие из него следствия.

Тем не менее, движение волн образуемых водными и воздушными струями из обломочных частиц, имеет отличие от движения (качения) деформируемых тел. Оно состоит в том, что за один период путь, равный длине описывающей гряду кривой (АВС), пройдут все слагающие ее частицы. И чем большим количеством периодов будут характеризоваться гряды, тем выше степень сортированности материала по гидравлической крупности. В случае, если форма обломков примерно одинаковая, то происходит и гранулометрическая дифференциация материала.

Морфометрические характеристики бегущих по дну русла гряд при постоянстве расхода воды и соотношения гранулометрических фракций (гидравлических крупностей) определяются скоростью течения. В соответствии с данным обстоятельством проявляется следующая интересная закономерность. По длине потока изменение морфометрических характеристик гряд обуславливается изменением скорости течения. В связи с этим участки русла с благоприятными условиями для формирования гряд обычно чередуются с участками, на которых эти условия отсутствуют. Поэтому размеры гряд по длине потока могут постепенно расти, а затем уменьшаться вплоть до полного исчезновения грядовых форм. Если на участке реки длиной x уместится N гряд, то, следовательно, последняя N -ая гряда испытала NT периодов перемещения и такую же кратность перемыва и пересортировки слагающего ее обломочного материала. Из этого следует, что последняя располагающаяся на отрезке x гряда, по сравнению с первой, должна характеризоваться максимально высокой степенью сортированности обломочного материала, что в действительности и наблюдается. В качестве примесей могут присутствовать вмываемые в тело гряды более мелкие частицы. Но это лишь в том случае, если гряды формируются из крупнообломочного материала, с большим коэффициентом пористости.

Отмеченная многими исследователями [8, 15, 9] косослоистая структура донных гряд характеризуется малым различием в гидравлической крупности частиц, слагающих соседние слои. По существу, это обломки одной фракции, сортирующиеся в пределах небольшого диапазона значений гидравлической крупности, например, чередование слоев крупнозернистого и среднезернистого песка.

Данные обстоятельства имеют важное диагностическое значение, в том числе для определения генезиса

са гряд, понимания процессов дифференциации обломочного материала по гидравлической крупности (не по размеру и весу), для выявления концентрации частиц полезных минералов с формированием россыпных месторождений.

Образование подвижных гряд на дне ведет к существенным изменениям русловой гидродинамики: с помощью гряд происходит увеличение средней скорости течения воды и осуществляется регуляция расхода обломочного материала. В частности, их появление ведет к существенному уменьшению количества обломочного материала, поступающего со дна, так как сокращается площадь эрозионного воздействия (дно может размываться лишь в межгрядовых понижениях).

Морфологическая характеристика «гигантских гряд»

Морфология и морфометрия гряд находятся в ответствии со скоростными параметрами потока и характеризуются следующими особенностями.

Относительный показатель размеров гряд (отношение высоты h гряд к их длине λ) определяется преобладающей крупностью обломков и скоростью течения. При этом величина h/λ тем меньше, чем больше скорость v и крупнее транспортируемый обломочный материал, так как в русловой системе, как самоорганизующемся природном автомате, функциональные отношения элементов целесообразны и спонтанно направлены к минимуму расходов энергии при перемещении, пространственном перераспределении и гранулометрической дифференциации вещества. Формирование подвижной гряды – целесообразный процесс. При увеличении количества транспортируемого обломочного материала в русле он направлен к образованию новой, дискретно-волновой формы перемещения. В результате при одном и том же расходе воды возрастает скорость течения потока. При этом величина h/λ регулируется за счет изменения угла наклона дистальной части гряды и, следовательно, общей длины гряды.

Следует отметить, что наклон дистальной части гряды и его согласованность с наклоном русла определяется разницей в скорости течения воды и гидравлической крупности транспортируемого материала. Чем больше эта разница, тем меньше наклон дистальной части подвижной гряды и тем больше его согласованность с уклоном дна, вплоть до момента, когда азимуты падения дистальных частей гряд и дна русла совпадают и различаются лишь крутизной – наклон дна больше наклона дистальной части гряды.

Неподвижные гряды, как отмечалось выше, формируются на окончаниях турбулентных струй по их оси. Они перемещаются лишь в случае перемещения самой турбулентной струи. Отличие неподвижных гряд от подвижных состоит еще и в том, что первые насыпаются – из выпадающих на дно обломочных частиц, образуя аккумулятивное тело с закономерно

распределенной крупностью обломков: от наиболее крупных в пределах ядра постоянных максимальных скоростей течения до наимельчайших в ее окончании и в краях. Поэтому неподвижные гряды могут характеризоваться обратной симметрией – дистальная и проксимальная части меняются местами.

Несмотря на растущий интерес к гигантской ряби, которая наиболее ярко выражена в Курайской котловине и которую по праву можно назвать алтайским феноменом, ее морфологическая характеристика страдает неполнотой данных. Исследователи направляли свой интерес преимущественно на наиболее представительную, хорошо выраженную часть гряд (северную часть в Курайской котловине). Не охарактеризовано строение вершинной поверхности гряд и ее изменение по простиранию; не описаны тальвеги (межгрядовые понижения).

Поперечный профиль гряд Курайской котловины рассмотрен во многих работах российских и зарубежных исследователей. Главной особенностью поперечного профиля курайских гряд является их нехарактерная для высокоскоростных водных потоков асимметричность: отношение высоты h к длине λ гряд составляет 0,1 – величина очень большая. Такая относительная характеристика больше подходит для насыпных, неподвижных аккумулятивных форм, но никак не для двигающихся, тем более при скоростях течения, достигающих 8 м/с и более. Дистальные части курайских гряд наклонены под углом 10° и более, в сторону, противоположную предполагаемому направлению течения палеопотока, что тоже не соответствует параметрам русловых грядовых форм.

Гряды в Курайской котловине на всей площади их распространения вытянуты в субпараллельные линии. Обычно же гряды, формируемые русловым потоком, в плане образуют иной характерный для них вид – вид развернутого веера, т.е. они выгнуты в сторону течения, и тем больше, чем больше скорость. При этом меняется и морфология гряд, и гранулометрический состав переносимого материала по мере движения от бортов русла к оси потока. На оси потока русловые гряды слагаются наиболее крупными фракциями, что естественно, так как на оси скорость течения максимальна, дистальная часть удлиняется, а h/λ закономерно уменьшается до сотых и тысячных долей. И в этом же направлении возрастает уклон дистальной части гряды, но не в сторону, противоположную направлению течения, а согласно с уклоном дна. У курайских же гряд дистальная часть слишком коротка и наклонена навстречу течению предполагаемого потока.

Выше отмечалось, что грядовое движение обломочного материала по существу представляет собой качение деформируемого твердого тела, имеющего вид поперечной волны. В этом случае должно быть соответствие в параметрах гряд и волн, образуемых самим потоком. Если же длина волны, слагаемой обломочным материалом, короче длины волны потока, то гряды переходят в ранг обыкновенной шерохова-

тости и разрушаются, морфологически перестраиваются в иную форму. То же происходит, если длина грядовых волн больше организуемых водным потоком. Отмеченные эффекты нами неоднократно наблюдались на горных и равнинных реках, в паводок и в межень.

Продольный профиль гребней гряд и межгрядовых понижений. Для определения генезиса курайских гряд одной из важнейших их характеристик является продольный профиль вершинной поверхности гряд и межгрядовых понижений. Если произвести графическую операцию вычитания межгрядовых понижений, то мы будем наблюдать плоскую ровную поверхность, наклоненную под углом $3-5^\circ$ на север от горного обрамления Курайской котловины, в сторону русла р. Чуи. Причем эта поверхность на юге постепенно сливается с такой же плоской аккумулятивной поверхностью, где гряды отсутствуют. А если произвести вычитание грядовых форм. То получим слабоогнутую поверхность, наклоненную к р. Чуе, ничем не отличающуюся от базисной поверхности.

Следовательно, можно полагать, что гряды могли быть образованы вследствие врезания временных водотоков, тем более что в настоящее время межгрядовые понижения, собственно, таковыми и являются. Продольный профиль их тальвегов имеет вид слабоогнутой кривой, к югу постепенно переходящей в слабовыраженные ложбины. К северу, ближе к руслу р. Чуи, относительное превышение высот гребней гряд над тальвегами достигает максимума. Вершинные поверхности гряд неровные, волнистые; возвышения чередуются с ложбинновидными понижениями, отходящими от осевой линии под углом примерно 10° на северо-запад. В центре возвышений наблюдается обломочный материал крупностью 10–250 мм; отдельные обломки, как правило, необработанные, достигают 500–1000, а иногда 3000 мм в поперечнике.

В отложениях понижений преобладает суглинок, в периоды увлажнения размокающий настолько, что вязнут ноги животных на глубину до 10 см. Однако наиболее важным обстоятельством является то, что на границе, где тальвеги выклиниваются и гряды как таковые исчезают, наблюдаются миндалевидные возвышения, в центральной части которых, как правило, располагаются крупные обломки и даже глыбы различных кристаллических пород, размером до 1 м и более. Травяной покров разреженный, тогда как оконтуривающие их понижения покрыты густой растительностью. На аэрофотоснимках эта часть поверхности представляет собой располагающиеся в шахматном порядке медальоны, переходящие в направлении к северу во все более морфологически выраженные возвышения, а с появлением тальвегов временных водотоков – в гряды.

Важно отметить своеобразие структуры гряд, которую они образуют в плане. При движении к верховьям тальвегов (на юг) наблюдается их деление на тальвеги более низких порядков: единое, хорошо вы-

раженное вначале межгрядовое понижение делится на 2 тальвега, а они затем еще на 2 и т.д. Затем, ближе к границе выклинивания тальвегов, с убыванием относительной высоты гряд, тальвеги первых порядков пересекают друг друга под углом $10-15^\circ$, образуя, таким образом, ячеистую структуру. В каждой такой ячее, размерами 7–8 м на 10–12 м, наблюдается возвышение, в центральной части которого располагается крупнообломочный материал. Обращает внимание еще одно обстоятельство – отсутствие крупнообломочного материала в тальвегах. Наиболее крупные глыбы и даже обломки скал размером примерно $3 \times 3 \times 3$ м встречаются лишь на вершинах гребней, реже – на их дистальных склонах, но не в тальвегах.

О возможных механизмах образования гряд

В настоящее время наибольшее распространение получила гипотеза флювиального происхождения курайских гряд, в которой категорически утверждается, что гряды были образованы водным потоком, сформировавшимся вследствие прорыва ледовых плотин.

Предположим, что «гигантская рыба» может быть результатом деятельности водного потока. Тогда такие его параметры, как скорость течения, распределение скоростей в плане и по глубине можно надежно установить по отмеченным выше характеристикам гряд.

Рассмотрим эти параметры.

Скорость течения потока должна была быть достаточной для перемещения обломков скал весом до 50–70 т вверх по наклонной поверхности крутизной $10-15^\circ$, т.е. она должна была достигать более 20 м/с. Причем такой скоростью течения потока должна была быть не только на его оси, но и в краевых частях, так как и там крупные глыбы имеют повсеместное распространение. Здесь возникает первое противоречие законам физики: безнапорное течение воды со скоростью 20 м/с по слабой наклонной поверхности ($3-5^\circ$), независимо от глубины потока, невозможно.

Тем не менее предположим, что в Курайской котловине существовал водный поток с указанными в статьях П. Карлинга и А. Рудого [25, 19] параметрами ($V = 8$ м/с; $H = 40$ м). Образование потоков с подобными характеристиками не противоречит ни теоретическим расчетам, ни наблюдавшимся фактам. В частности, нами проводились инструментальные измерения скорости течения горной реки Ярап (хр. Баджал, Приамурье), в паводок достигавшей 7 м/с. Воспользуемся одной из формул расчета неразрывающейся скорости потока для обломков различной крупности. Напомним, что неразрывающейся скоростью течения ($u_{др}$) является скорость, при которой происходит первоначальное нарушение равновесия, а разрывающаяся скорость $u_{др}$ – это скорость, при которой срыв частиц заданного диаметра становится массовым. Согласно последним теоретическим и экспериментальным исследованиям условий начала массово-

го движения частиц донных отложений, проведенным Г.В. Железняковым и другими учеными, основные критические значения донной скорости можно определить исходя из следующих зависимостей [7]:

$$u_{\text{днр}} = \sqrt{\frac{C_R}{C_y} \cdot (4w_+^2 + w^2)},$$

$$u_{\text{др}} = u_{\text{днр}} \cdot \sqrt{2},$$

где $u_{\text{др}}$, $u_{\text{днр}}$ – соответственно размывающая и не-

размывающая донная скорость; $w_+ = 3\sqrt{\frac{2B}{3A^2}} f g v$.

– характерная гидравлическая крупность; величины $B = 24$, $A = 0,4$ – для частиц наносов сферической формы; для несферических частиц $B = 24$, $A = 1,1$. Физический смысл характерной гидравлической крупности заключается в фиксировании нижнего предела неразмывающей скорости. Для обломков большого ди-

аметра значение неразмывающей $u_{\text{днр}}$ скорости будет стремиться к гидравлической крупности, оно зависит в большей степени от диаметра, то есть:

$$u_{\text{днр}} = \sqrt{\frac{C_R}{C_y}} \cdot w,$$

где $w = \sqrt{\frac{4fgd}{3C_R}}$ – гидравлическая крупность обломков диаметром d и с относительной плотностью f , а величина отношения коэффициента лобового сопротивления к коэффициенту подъемной силы, по исследованиям М.А. Дементьева, составляет $(C_R / C_y = 4)$ [4]. При учете формы обломка в формуле гидравлической крупности появляется коэффициент формы

K_ϕ : $w_\phi = \sqrt{\frac{4 \cdot fgd}{3 \cdot C_R \cdot K_\phi}}$. Этот коэффициент равен единице для шара и увеличивается по мере отклонения формы обломков от шарообразной. Среднее его

значение для галечника составляет $K_\phi = 2$ [3].

График зависимости гидравлической крупности и размывающей скорости от диаметра и формы приведен на рис. 3.

Опираясь на данные положения, рассмотрим физические возможности перемещения крупных глыб на грядах. Их размеры достигают от 1,5 x 2 до 3 x 3 м. Для того, чтобы их срывать и перемещать вверх по склону крутизной >10 , требуется донная скорость течения соответственно от 15 до 21,7 м/с. При таких скоростях более мелкий обломочный материал будет находиться во взвешенном состоянии или перемещаться в придонной области в режиме гладкой фазы. При снижении скорости течения до размывающей для галечной фракции (от 3,1 до 6,27 м/с) глыбовая фракция окажется погребенной. В этом случае, кроме прочего, крупные глыбы встречались бы и в межгрядовых понижениях (тальвегах), чего в курайских грядах не наблюдается.

А.Рудой, В.Бейкер, П.Карлинг, авторы вышеописанной гипотезы, не найдя каких-либо фактических оснований для существования формировавшего курайские гряды потока, сделали заключение, согласно которому в пределах Курайской котловины существовала огромная по своим размерам водоворотная зона (рис. 4). По их мнению, главная ось потока (с указанными выше параметрами), входившего в Курайскую котловину с востока, располагалась в правом борту современной долины Чуи. А все левобережье было занято формируемой этим потоком водоворотной зо-

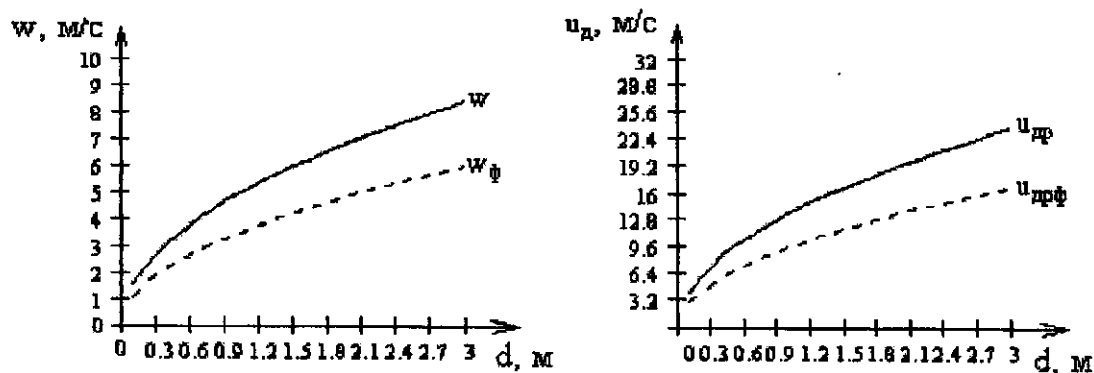


Рис. 3. Зависимость гидравлической крупности и размывающей скорости от диаметра и формы обломка. w – гидравлическая крупность обломка, $u_{\text{др}}$ – донная размывающая скорость; w_ϕ , $u_{\text{др}\phi}$ – значения гидравлической крупности и размывающей скорости с учетом формы обломков

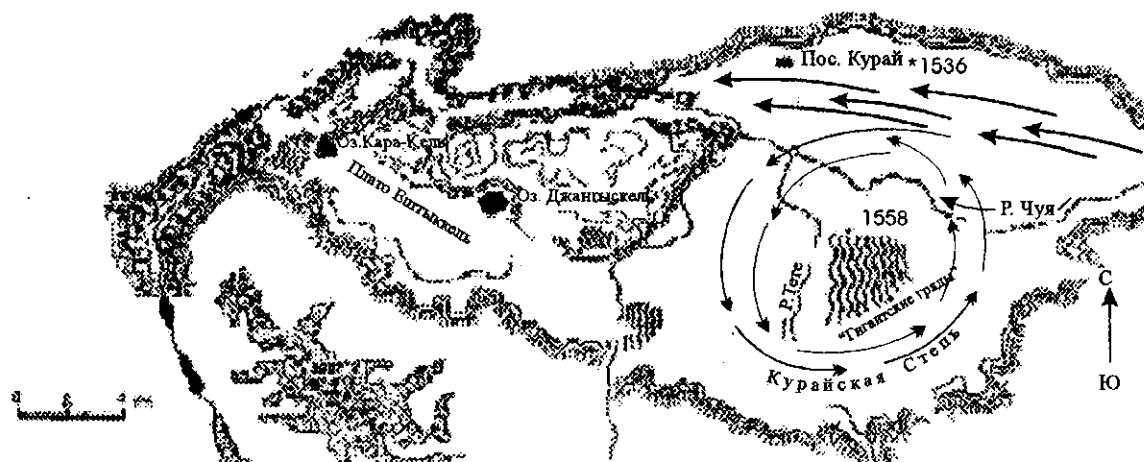


Рис. 4. Схема палеопотока и водоворотной зоны в пределах Курайской впадины, согласно А.Н.Рудому.[19]

ной. Напомним, что, согласно их данным, скорости потока в этом, как они называют, «обратном течении» составляли более 8 м/с, а глубины воды – более 40 м.

Как следует из схемы А.Рудого, водоворот в пределах Курайской котловины имел своим центром точку с абс. высотой 1558 м (середина котловины) [19]. Во вращательном движении тел угловые скорости одинаковы, тогда как линейные растут с увеличением радиуса. Так именно и происходит в водоворотных зонах, что можно наблюдать на любой реке.

Однако вода, как жидкое тело, во вращательном движении ведет себя иначе, чем твердое. При вращении, из-за действия центробежных сил, она концентрируется в струю по периметру и, применительно к Курайской впадине, по ее периферии.

Радиусы изгиба потоков и формируемых ими русел находятся во взаимном соответствии, которое достигается за счет оптимального соотношения скоростей течения потока, площади его поперечного сечения и размываемости пород, в которых формируется русло. При указываемых авторами параметрах потока радиус его изгиба должен быть больше, чем радиус изгиба котловины. Следовательно, в распределении скоростей большую роль должны были играть центробежные силы, приводящие к существенному перераспределению массы воды к бортам и соответствующему возрастанию скоростей. Таким образом, максимальные скорости течения и глубина потока должны были быть в краях Курайской впадины и значительно превышать (быть значительно больше 8 м/с) таковые в центре, над грядовым полем.

В таком случае странно, что при прекрасной морфологической выраженности гряд в центральной части котловины, никаких следов не сохранилось от деятельности того мощного водного потока, какой должен был образоваться по периферии котловины. Если допустить существование здесь палеопотоков, абсолютно неминуемо должно было образоваться глубоко врезанное русло. Однако на этих самых местах сейчас располагается слабонаклонная поверхность, по-

крытая чехлом аккумулятивного материала и ограничиваемая склонами крутизной 15-20°, с выработанной в них лестницей волноприбойных ступеней существовавшего ранее озерного бассейна. Наличие волноприбойных ступеней свидетельствует лишь о том, что спуск озера осуществлялся медленно. Нет буквально никаких следов эрозионной деятельности того гигантского потока, о котором так настойчиво утверждают в своих статьях и лекциях авторы. Гряды сохранились, а вот русла – нет.

Отсутствие значительных следов эрозионной деятельности предполагаемого мегاپотока отмечается и в исследованиях П.А.Окишева [12]. Им, в частности, справедливо утверждается, что при указываемых параметрах суперпотоков «... долины Чуи и Катунь на всем протяжении ниже ледниковой плотины должны бы представлять собой циклопические эрозионные формы, известные под названием *кули*» (с. 76). Наличие слабоэродированных крупных моренных комплексов в предполагаемом канале катастрофического сброса озерных вод не позволяет считать катастрофический характер сброса в данном районе достаточно обоснованным [12].

Таким образом, проведенный анализ строения курайских гряд показывает их несоответствие донным аккумулятивным образованиям, формирующимся в водных потоках. Предположение об их флювиальном генезисе, как о результате образования гигантских паводочных волн, вследствие прорыва ледовых плотин, наталкивается на ряд неразрешимых противоречий.

В отношении генезиса гряд, насколько позволяют судить собранные нами и нашими предшественниками данные, можно высказать две гипотезы.

1. Формирование гряд происходило вследствие структурной упорядоченности рыхлых аккумулятивных флювиогляциальных образований, вызываемой мерзлотными процессами – упорядоченными по времени колебаниями влажности и температуры с переходом через 0°, при последующем врезании в поверхность по границам структурных грунтов многочисленных временных водотоков.

2. Гряды формировались вследствие упругих колебаний земной коры и вызываемых ими сейсмодислокаций.

Рассмотрим первую гипотезу. На идею формирование гряд вследствие структурной самоорганизующейся упорядоченности грунтов наводит описанный выше характер перехода гряд в их продолжение в виде сетки медальонов, располагающихся на выровненной слабонаклонной поверхности в южной части Курайской котловины.

Вот как характеризует структурные грунты типа пятен-медальонов А.Л. Уошборн: «Это структурные грунты, характеризующиеся преимущественно округлой формой ячейки и отсутствием каменного бордюра. ... Пятна-медальоны, как правило, окаймлены растительностью и встречаются поодиночке или группами. Их типичный диаметр равен 0,5-3 м. Центральные части кругов нередко имеют слегка выпуклый профиль» [21] (с. 128). А.Л. Уошборн отмечает, что встречаются пятна-медальоны в виде округлых скоплений каменных глыб, вымораживаемых с нижних горизонтов аккумулятивных отложений. Обратим внимание на важное замечание А.Л. Уошборна, касающееся условий формирования структурных грунтов: «Круги, полигоны и сети обычно встречаются на почти горизонтальных поверхностях, а на склонах от 2 до 7° ... они становятся вытянутыми, с тенденцией преобразования в полосы» [21].

Структурные грунты являются практически неотъемлемой характеристикой выровненных слабонаклонных поверхностей, покрытых чехлом рыхлых образований, районов с резко континентальным климатом. Если при наличии указанных условий происходят резкие колебания суточных температур с переходом через 0°, то образование структурных грунтов является непрямым следствием. Нами они наблюдались в горных тундрах – на выровненных поверхностях хр. Тукурингра-Джагды, хр. Баджал, Восточных Саян и др. местах. Условия для формирования структурных грунтов в Курайской, Чуйской котловинах и других подобных местах Горного Алтая настолько благоприятны, что было бы странным их отсутствие здесь.

Механизм трансформации структурных грунтов Курайской котловины в гряды представляется в следующем виде. После спуска озера грунты, покрывавшие днище, были в сильно увлажненном состоянии; при резкой смене дневных и ночных температур, происходящей на фоне резких сезонных колебаний, произошло быстрое формирование медальонной сети полигонов, которой была покрыта вся поверхность днища котловины. Затем по понижениям, разделяющим медальоны, стали закладываться временные ручейки, активизирующие эрозионную деятельность в период таяния снега и во время дождей летом. Врезание ручьев происходило в соответствии с их базисом эрозии – руслом р. Чуи. Именно поэтому, на наш взгляд, межгрядовые понижения имеют вид правиль-

но построенных продольных профилей водотоков, как плавно вогнутых кривых, с максимальной величиной понижения к базису эрозии и выклинивающейся к истокам. Можно сказать, что курайское поле гряд – это сформировавшийся на структурных грунтах бедленд.

Не хотим категорически утверждать, что предлагаемый нами механизм формирования гряд является единственным, хотя оснований у нашей гипотезы вполне достаточно. Кроме отмеченных выше, можно еще упомянуть и о кажущейся странности в распределении крупных глыб и обломков скал на грядах, которая получает более реалистическое толкование с позиций нашей идеи. Найдет ли эта идея полное подтверждение, покажут будущие детальные исследования.

Вторая гипотеза – гряды как результат сейсмодислокаций. Горный Алтай относится к сейсмически активным районам, на его территории землетрясения проявляли себя многократно и в течение его четвертичной истории. Известно, что упругие колебания есть не что иное, как волновые движения твердого тела. Волны же обладают способностью переносить вещества, лежащие на их поверхности, что установлено экспериментально и теоретически [10, 13, 14] и наблюдается в современном рельефе в виде концентрически располагающихся гряд вокруг центров импактного воздействия (астроблем) крупных космических тел (метеоритов, астероидов). Можно допускать, во всяком случае, это не противоречит физическим законам, что во время землетрясений поверхностные рыхлые, с вязкопластическими свойствами слои, лежащие на кристаллическом фундаменте, испытывающем упругие колебания, могли перемещаться по радиусам в стороны от эпицентра. Естественно, что при этом они испытают деформацию в виде гофрировки, тем более мелкой, чем тоньше слой рыхлых образований.

Эта гипотеза может иметь право на существование, если известные на Горном Алтае гряды по своему простираению укладываются в концентрические окружности. Тогда их радиус может указывать эпицентр землетрясения.

Резюмируя рассмотрение проблемы формирования курайских гряд, хотим акцентировать следующее: мы никоим образом не ставим цель доказать, что на Алтае в течение всего четвертичного времени не было крупных паводковых волн, образующихся вследствие прорыва плотин или медленного спуска временных озерных бассейнов. Эти процессы очевидны и специального доказательства не требуют. Наши дискуссионные суждения касаются методологии науки, системы доказательства научной истины или опровержения ошибочных положений.

Гипертрофированная сосредоточенность внимания на морфологической схожести форм рельефа или каких-либо иных видов внешнего проявления различных процессов уводит в сторону от истины, и даже за ту грань, где заканчивается наука.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 01-05-65151)

Литература

1. Барышников Г.Я. Последнее оледенение Горного Алтая и обусловленные им катастрофические рельефообразующие процессы // Региональная геохронология Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск: Наука, 1987. С. 154–160.
2. Бутвиловский В.В. Палеогеография последнего оледенения и голоцена Алтая: событийно-катастрофическая модель. Томск: Изд-во ТГУ, 1993. 252 с.
3. Дебольский В.К. Геометрические характеристики частиц наносов // Динамика русловых потоков и литодинамика прибрежной зоны моря. М.: Наука, 1994. С. 71–77.
4. Дементьев М.А. Транспорт одиночного твердого тела неоднородным потоком жидкости. Изв. ВНИИГ. 1955. Т. 50.
5. Добролюбов А.И. Бегущие волны деформации. Минск: Наука и техника, 1987. 144 с.
6. Добролюбов А.И. Скольжение, качение, волна. М.: Наука, 1991. 176 с.
7. Желязняков Г.В., Пейч Ю.Л. Начальная стадия деформации русел // Метеорология и гидрология. 1995. № 10. С. 77–84.
8. Знаменская Н.С. Грядовое движение наносов. Теория и практические приложения. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 188 с.
9. Каменсков Ю.И. Русловые и пойменные процессы. Томск: Изд-во ТГУ, 1987. 171 с.
10. Кочарян Г.Г., Родионов В.Н. О природе тектонических сил // Докл. АН СССР. 1988. Т. 302, № 2. С. 304–305.
11. Лунгерсгаузен Г.Ф., Раковец О.А. Некоторые новые данные о стратиграфии третичных отложений Горного Алтая // Труды ВАГТ. 1958. Вып. 4. С. 79–91.
12. Окишев П.А. Реконструкция «катастрофических суперпотоков» и геолого-геоморфологические реалии // Вопр. географии Сибири. Томск: Изд-во ТГУ, 1999. Вып. 23. С. 75–87.
13. Поздняков А.В. Динамическое равновесие в рельефообразовании. М.: Наука, 1988. 208 с.
14. Поздняков А.В., Махинов А.Н., Бардюк В.В. Экспериментальные исследования процесса самоограничения свободной турбулентной струи и возможный механизм формирования шлепа // Динамика и термика рек, водохранилищ и эстуариев. М.: Наука, 1984.
15. Попов И.В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 364 с.
16. Рудой А.Н., Парначев С.В., Сидоркин В.В. Новые данные по морфологии и вещественному составу гигантской ряби течения (Горный Алтай) // Пробл. геологии Сибири. Томск: Изд-во ТГУ, 1994. Т. 1. С. 215–217.
17. Рудой А.Н., Карлинг П.А., Парначев С.В. О происхождении «странной» ориентировки гигантских знаков ряби в Курайской впадине на Алтае // Там же. С. 217–218.
18. Рудой А.Н. Скейбленд Центральной Азии // Природа. 1994. № 8. С. 3–20.
19. Рудой А.Н. Четвертичная гляциология гор Центральной Азии: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. Томск, 1995. 35 с.
20. Рудой А.Н. Механизмы подпруживания и сброса четвертичных ледниково-подпрудных озер // Гидрологич. исслед. в Сибири. Томск, 1997. С. 69–73.
21. Уотсборн А.Л. Мир холода: Пер. с англ. М.: Прогресс, 1988. 381 с.
22. Чугаев Р.Р. Гидравлика. Л.: Энергоиздат, 1982. 672 с.
23. Baker V.R., Benito G., Rudoy A.N. Paleohydrology of Late Pleistocene Superflooding, Altay Mountains, Siberia // Science. 1993. Vol. 259. P. 348–350.
24. Carling P.A. Morphology, sedimentology and paleohydraulic Significance of large gravel dunes: Altai Mountains, Siberia // International Association of Sedimentologists, Sedimentology. 1996, 43. P. 647–664.
25. Carling P.A. A preliminary paleohydraulic model applied to late Quaternary gravel dunes: Altai Mountains, Siberia // Global Continental Changes: the Context of Paleohydrology, Geological Society Special Publication. 1996, 115. P. 165–179.