

кайнозой они выступают как единый блок земной коры². Вертикальные колебательные движения этого монолитного блока, в особенности контрастные колебания в конце четвертичного периода, определили главные черты его рельефа. Приазовская возвышенность и Донецкий кряж являются единой гетерогенной кайнозойской морфоструктурой, несмотря на существующие между ними различия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Космогеологическая карта СССР. Масштаб 1 : 25 000 000. М.: Аэрогеология, 1984.
2. Атлас литолого-палеогеографических карт Русской платформы и ее геосинклинального обрамления. Масштаб 1 : 5 000 000. М.: Госгеолтехиздат, 1961. Ч. 2.
3. Атлас литолого-палеогеографических карт СССР. М.: ГУГК Мингео СССР, 1967.
4. *Трипільська М. І.* Геологічна будова зони зчленування Донецького кряжа з Приазовським кристалічним масивом. Київ: Вид-во АН УРСР, 1958. 52 с.
5. Карта разрывных нарушений и основных зон линейментов юго-запада СССР. Масштаб 1 : 1 000 000. М.: Мингео СССР, 1988.
6. *Бронгулеев В. Вад., Бронгулеев В. В.* Карта усредненного рельефа Русской равнины // Гео-мофология. 1987. № 1. С. 22—28.

Институт геологии и геохимии
горючих ископаемых АН УССР

Поступила в редакцию
11.XII.1989

THE AZOV-DONETS UPLAND — A HETEROGENEOUS CENOZOIC MORPHOSTRUCTURE

I. D. HOFSTEIN

Summary

In spite of the structural difference between the Donets Ridge and the Azov crystalline massif as well as different history of their formation, they form a single upland without marked division. Paleogeographic data corroborate this thesis: an upland within the same limits existed throughout the whole Cenozoic time. The unity composed of the Donets Ridge and the Azov massif has not been broken in spite of epeirogenic movements.

УДК 551.311.233

Н. Г. ДОБРОВОЛЬСКАЯ, Р. В. ЛОДИНА, Р. С. ЧАЛОВ

О РОЛИ МЕХАНИЧЕСКОГО И БИОХИМИЧЕСКОГО ВЫВЕТРИВАНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ СОСТАВА РУСЛОВОГО АЛЛЮВИЯ

В процессе перемещения русловым потоком обломков и частиц горных пород происходит их истирание, дробление и гидравлическая сортировка. При этом многие особенности формирования современного руслового аллювия зависят от исходного материала, поступающего в реки, т. е. определяются геологическим строением бассейнов рек и литологическими особенностями горных пород, с которыми соприкасается поток при своем движении или которые

² Предложенное для него название (Приазовско-Донецкая возвышенность) не претендует на новизну, в частности его применили (в морфологическом смысле) авторы карты усредненного рельефа Русской равнины [6].

выносятся в реки их притоками, а также временными русловыми и нерусловыми потоками.

Ведущий фактор, определяющий дифференциацию аллювия в русле, — водный поток. Его роль проявляется по-разному в зависимости от степени выработанности продольного профиля и направленности эрозионно-аккумулятивных процессов, впадения притоков, морфологии долины и русла, определяющих условия протекания потока в половодье и в межень и т. д. Степень влияния каждого из этих факторов меняется от истоков к устью [1], что обуславливает закономерное изменение в этом направлении крупности и состава руслового аллювия.

Анализ изменения состава руслообразующих наносов (руслового аллювия) рек, горных в верховьях, равнинных на остальном их протяжении и соответственно имеющих сначала галечно-валунное, а затем песчаное русло, показывает, что переход от галечного русла к песчаному происходит, минуя гравийную стадию, либо постепенно (через галечно-песчаный состав аллювия), либо скачкообразно. Примером резкого перехода от галечного русла к песчаному может являться р. Терек [2], где наблюдается скачкообразное (примерно в 50 раз) уменьшение средней крупности руслового аллювия. В 200—250 км от истока (около 400 км от устья), там, где река выходит за пределы предгорных хребтов на территорию Терско-Кумской равнины, а русло превращается из полугорного в равнинное, галечный аллювий со средней крупностью 80 мм сменяется песчаным средней крупностью 0,55 мм. Выше и ниже по течению распределение наносов происходит в соответствии с логнормальной кривой. Отсутствие в зоне перехода источников поступления галечного материала из притоков и бортов долины обуславливает несоответствие между удельной мощностью потока и крупностью руслообразующих наносов. Избыток энергии проявляется в морфологии русла и руслового рельефа: здесь распространены наиболее сложные морфодинамические типы разветвленного русла и многочисленные перекаты.

При постепенном переходе от галечного русла к песчаному, что характерно, например, для среднего течения Лены [3], русло разделяется на левобережную песчаную и правобережную галечную стороны на участке длиной несколько сотен километров. Однако и в этом случае возникает разрыв в последовательности смены типов русла по составу наносов: отсутствует гравийное русло. Гравий составляет в русловом аллювии лишь примесь как в песчаных, так и галечных его разновидностях; при этом доля его в пробах может быть весьма значительной (до 50%), вплоть до образования гравелистых песков. Одновременно в песчаных и галечно-песчаных руслах встречаются фрагменты участки, выстилаемые гравием. Их образование связано исключительно с гидравлической сортировкой наносов по крупности на перекатах, в узлах разветвления или на крыльях излучин. Чисто гравийные русла на участках рек протяженностью хотя бы в несколько километров отсутствуют, в то время как песчаные и галечные распространены повсеместно. Это положение иллюстрируется табл. 1, в которой показано изменение гранулометрического состава современного руслового аллювия по длине рек Терека и Лены.

Для выяснения причины отсутствия гравийных русел рассмотрим процессы измельчения аллювия (истирание, окатывание, дробление, химическое и механическое выветривание) без учета гидравлической сортировки. Экспериментами Н. В. Разумихина [4] по истиранию и дроблению различных фракций в процессе их транспортировки (в барабане) установлено, что максимальное дробление и истирание осуществляется для большинства пород в начале пути (не более 100 км). Для гальки преобладает дробление, для гравия — истирание. При этом крупные частицы изнашиваются более интенсивно, чем мелкие, что объясняется различием в способе их транспортировки: для крупных — волочение, при котором происходит соударение и истирание, для мелких — преимущественно взвешивание. Даже при истирании песка наибольшая потеря в весе присуща крупным песчаным разностям. Среди гравийных частиц, в отличие от гальки

Изменение гранулометрического состава современного руслового аллювия на реках Лене и Тереке

Река	Расстояние от устья, км	Тип русла	Содержание фракций в пробах, %		
			валуны, галька	гравий	песок
Врезанный					
Лена	2423	Врезанная излучина	100	—	—
	2110	Одиночное разветвление	89,7	10,3	—
	1965	Одностороннее разветвление	70,0	16,3	13,7
	1860—1850	Параллельно-рукавное	28,0	—	72,0
Широкопойменный					
	1742—1732	Сопряженное разветвление	25,7	—	74,3
	1630	То же	0,2	0,1	99,7
Врезанный					
Терек	598	Прямолинейное	75,6	14,4	10,0
	393	Сложно разветвленное	94,1	3,1	2,8
	250	Разветвленно-извилистое	—	—	100,0

и песка, наибольшему износу подвержена категория мелкого гравия (2—4 мм). Таким образом, наиболее устойчивой к дроблению и истиранию, как показал эксперимент, является фракция среднего и крупного гравия по сравнению с галькой и песком. Исследования Л. Шоклича, А. Б. Вистелиуса, О. А. Борсука и др. показали, что интенсивность истирания и окатывания тесно связана при прочих равных условиях с петрографическим составом пород. Н. В. Разумихин, установил закономерность истирания частиц различного минерального состава, расположив породы в порядке уменьшения устойчивости: халцедон, кварц, кварцит, диабаз, песчаник, известняк. Аналогичная зависимость интенсивности истирания от состава пород была получена для рек Восточной Сибири [5], на основании которой предложен ряд абразивной устойчивости пород к истиранию: граниты, гнейсы, песчаники кварцевые, алевролиты, порфиры, порфириты, кварц.

Анализируя результаты эксперимента по истиранию и дроблению, проведенные Н. В. Разумихиным, можно прийти к выводу, что наибольшему механическому истиранию подвержена фракция мелкого гравия, а максимальное дробление присуще мелкой гальке (при исходной крупности в опыте 20—30 мм — мелкая галька). Менее всего измельчается фракция среднего и крупного гравия. Таким образом, по результатам опытов Н. В. Разумихина можно было бы предположить, что в природе должны быть гравийные русла. Однако в действительности этого не наблюдается, т. е. учет одного механического истирания и дробления не позволяет объяснить реально существующее в природе явление: отсутствие гравийных русел.

В измельчении аллювия не менее важна роль субкавального биохимического выветривания под воздействием микроорганизмов. Многочисленные лабораторные и натурные исследования [6, 7] показали, что при прочих равных условиях скорость биохимического выветривания зависит от прочности кристаллической решетки минералов, условий среды, в которой происходит их растворение, характера породоразрушающего агента, петрографического и фракционного состава аллювия. Установлено [8], что при биохимическом разрушении менее активно происходит мобилизация элементов, входящих в кристаллическую решетку минералов, а более активно — изоморфно защищенных или обменных ионов. Например, из микроклина труднее всего извлекаются кремний, калий и алюминий, тогда как магний, кальций и железо выносятся довольно легко. В результате микробактерии оказывают большое влияние на изменение грану-

Таблица 2

Интенсивность выветривания известняка (в мг/л Ca^{++} на 1 г породы) разными штаммами культур

Номер штамма	Фракции и их размеры, мм		
	галька, 40—60	гравий, 6—4	песок, 0,5—0,1
I	120	831	250
II	96	784	273

Таблица 3

Интенсивность выветривания кварца культурами, мг / л

Номер штамма	Фракции и их размеры, мм		
	галька, 40—60	гравий, 6—4	песок, 0,5—0,1
I	10,2	45	20
II	4,6	40	18

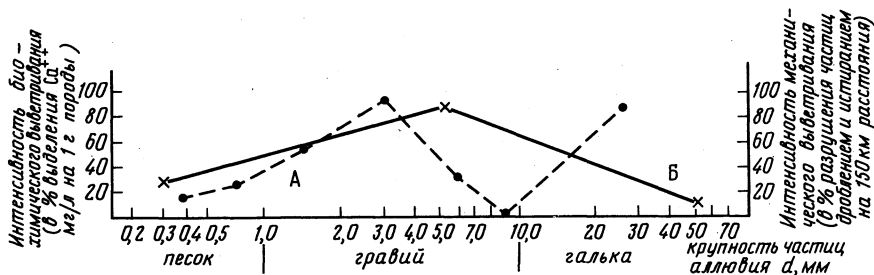
лометрического состава минерального субстрата: с одной стороны, они способствуют разрушению минералов и полному растворению отдельных участков минеральных зерен, с другой — стимулируют образование крупных устойчивых агрегатов (за счет различных выделений), что говорит об их двойственной роли в агрегировании тонкодисперсных частиц.

Большинство исследователей считают, что выветривание связано в первую очередь с действием органических веществ микробного происхождения. Продуцентами таких органических соединений являются в основном бактерии. Так, разложение алюмосиликатов происходит под влиянием продуцируемых бактериями муравьиной, уксусной и масляной кислот [9]. Благодаря воздействию группы бактерий, продуцирующих 2-кетоглюконовую кислоту [10], в раствор за время проведения опытов перешло из волластонита, талька и серпентина SiO_2 — 1—17%; Ca — 3—63; Mg — 3—54; Al — около 16 и K — 5% от их валового содержания в минералах. Бактерии, выделенные из разрушенного гранита, давали аналогичную картину. Ряд бактерий, активно продуцирующих щавелевую, янтарную, глюкуроновую и винную кислоты, вызвал растворение фосфатов.

Изучалось влияние микробной суспензии на гранит, ортоклаз, лабрадорит, биотит и нефелин, размельченные до фракций размером 1,5—2 см и помещенные в перкаляторы с проточной водой. В зависимости от минерального субстрата развивалась та или иная микрофлора из «смеси», которой заражался минерал. Количество элементов, перешедших в раствор в присутствии бактерий, всегда значительно больше, чем в абиотических условиях (например, металлов щелочных в 6—8 раз, щелочноземельных в 3—4, железа, алюминия, кремния — в 2—4 раза). Среди 40 изолированных бактериальных штаммов очень высока доля микроорганизмов, выделяющих щавелевую, молочную и глициновую кислоты.

Воздействие организмов на породы и минералы может быть прямое и косвенное, причем эффективность последнего, как правило, значительно выше. Результатом прямого воздействия является деструкция горной породы под влиянием микробной слизи и ферментативное разрушение. Косвенное воздействие осуществляется биохимическими соединениями, продуцируемыми микроорганизмами в процессе обмена веществ. Являясь сильными химическими реагентами, минеральные и органические кислоты, биогенные щелочи, келатообразователи, обладают и редуцирующими свойствами и способны вступать в химические реакции практически с любым минералом.

Интенсивность биохимического выветривания тесно связана с механическим истиранием руслообразующих наносов. В процессе транспортировки влекомых



Соотношение интенсивности механического (А) и биохимического (Б) разрушения гальки, гравия и песка в русловых потоках (данные о механическом разрушении приведены по материалам Н. В. Разумихина [4])

наносов скольжением, волочением, перекачиванием и соударением частиц происходит образование более мелких фракций и экспонирование свежих поверхностей, благодаря непрерывному удалению потоком продуктов выветривания. Обновление поверхности частиц способствует повышению биохимической активности микроорганизмов, поскольку вместе с верхним слоем удаляются продукты метаболизма и выветрелые слои, обедненные питательными веществами. Таким образом, механическое истирание и дробление стимулируют процесс биохимического выветривания.

Микробиологические исследования воды, грунтов и аллювия разнообразного петрографического состава, проведенные на реках Восточной Сибири, Алтая и Средней Азии, показали, что в речных наносах и водной толще содержится значительное количество микроорганизмов, качественный состав которых очень неоднороден. Для определения интенсивности субаквального биохимического выветривания в зависимости от гранулометрического состава аллювия непосредственно из пород аллювиальных наносов были выделены штаммы микроорганизмов, которые в дальнейшем использовались в экспериментах. Методика опытов заключалась в следующем: чистая культура *Micrrococcus* засеивалась в питательную среду, в которую помещалась определенная навеска породы, измельченная до требуемых размеров, предварительно тщательно отмученная. Активность воздействия бактерий определялась по разности между содержанием ионов Ca^{++} или молекул SiO_2 в опыте и контроле. Продолжительность опыта составила от 60 до 80 сут. Результаты опытов с известняками свидетельствуют о весьма интенсивном растворении под влиянием микроорганизмов в первую очередь их гравийной фракции (табл. 2). При этом выявлено, что известняк очень неустойчив по отношению к любым агентам измельчения: как к механическому (истиранию и дроблению), так и к биохимическому разрушению. Кроме того, известняк значительно подвержен растворению. Когда он минует гравийную стадию, в его разрушении на первый план выступают другие процессы, в том числе и химические. Конечная стадия измельчения известняка — известковая мука, которая следует сразу же после стадии мелкого гравия — крупного песка. Отсюда отсутствие песчано-известняковых русел и очень быстрое исчезновение из петрографического спектра известняков, как только исчезает источник их поступления.

Менее интенсивно происходит под воздействием микроорганизмов растворение кварца, что свидетельствует о селективной эрозии (преимущественном выветривании одних пород по сравнению с другими), хотя и в нем проявляется отчетливая тенденция к максимальному выветриванию гравийной фракции (табл. 3): интенсивность разрушения гравия кварца в 4—8 раз больше, чем гальки, что лишь немного уступает известняку (6—8 раз). Это приводит к более быстрому исчезновению из петрографического спектра аллювия частиц, наименее устойчивых к биохимическому разрушению, и относительному однообразию минерально-петрографического состава руслового аллювия при удалении от местных источников его питания обломочным материалом.

Таким образом, наиболее устойчивыми к механическому измельчению фракциями оказались гравий (средний и крупный), средний и мелкий песок, причем последние также в силу своей мономиктовости (как правило, кварцевые пески). Однако несмотря на значительную устойчивость к механическому истиранию гравийной фракции, именно для нее интенсивность биохимического выветривания под воздействием микроорганизмов значительно выше, чем для гальки и песка (рисунок). Следовательно, выпадение гравия как типа руслообразующих наносов и соответственно отсутствие гравийных русел объясняется непрерывно протекающим субаквальным биохимическим выветриванием, которое наиболее интенсивно разрушает гравийную фракцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эрозионные процессы (Географическая наука практике) / Под ред. Маккавеева Н. И., Чалова Р. С. М.: Мысль, 1984. 203 с.
2. Лодина Р. В., Раишутин Д. В., Сидорчук А. Ю., Чалов Р. С. Изменения морфологии русла и руслообразующих наносов от истоков до устья (на примере Терека) // Геоморфология. 1987. № 1. С. 86—94.
3. Лодина Р. В. Особенности морфологии русла в условиях перехода от галечного аллювия к песчаному // Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях. М.: Изд-во МГУ, 1987. С. 350—351.
4. Разумихин Н. В. Экспериментальные исследования эволюции окатанности обломков горных пород. Л.: Изд-во ЛГУ, 1965. 66 с.
5. Борсук О. А., Лодина Р. В. Измельчение руслового аллювия в зависимости от состава пород // Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях. М.: Изд-во МГУ, 1987. С. 355.
6. Борсук О. А., Добровольская Н. Г., Лодина Р. В., Чалов Р. С. Морфология русел и современный аллювий на горных реках Западного Тянь-Шаня // Геоморфология. 1981. № 4. С. 60—67.
7. Глазовская М. А., Добровольская Н. Г. Геохимические функции микроорганизмов. М.: Изд-во МГУ, 1984. 151 с.
8. Сушкина Н. Н., Цурюпа И. Г. Микрофлора и первичное почвообразование. М.: Изд-во МГУ, 1973. 85 с.
9. Новоросова Л. Е., Ремезов Н. Н., Сушкина Н. Н. Разрушение алюмосиликатов почвенными бактериями // Докл. АН СССР. 1947. Т. 58. № 4. С. 15—28.
10. Duff R. B., Webley D. M., Scott R. D. Solubilization of minerals and related materials by 2-betogluconic acid-producing bacteria // Soil Sci. 1963. V. 95. № 2. P. 21—33.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
20.IX.1989

ON THE SIGNIFICANCE OF MECHANIC AND BIOCHEMICAL WEATHERING FOR THE CHANNEL ALLUVIUM COMPOSITION

DOBROVOLSKAYA N. G., LODINA R. V., CHALOV R. S.

Summary

The paper considers the causes responsible for the lack of gravel in the channel alluvium. Relation of mechanical (abrasion and crashing) to biochemical weathering in the process of bed load transport is discussed. Gravel particles appeared to be most prone to desintegration, microorganisms activity being the leading agent in the process.