

УДК 551.4.01

© 2016 г. В.П. ЧИЧАГОВ

О ЗАКОНАХ АРИДНОЙ ГЕОМОРФОЛОГИИ

*Институт географии РАН, Москва, Россия
e-mail: chichagov@mail.ru*

В качестве всеобщего закона геоморфологии можно признать первый главный геоморфологический закон Д.А. Тимофеева: *рельеф Земли формируется в результате взаимодействия противоположно направленных эндогенных и экзогенных рельефообразующих процессов*. Частные геоморфологические законы значительно различаются в пределах аридных, преимущественно эоловых, и гумидных, главным образом, флювиальных обстановок. Общим частным геоморфологическим законом для них является *закон формирования рельефа в результате деятельности литодинамических потоков*. В регионах аридного рельефообразования эти потоки связаны как с постоянной деятельностью ветра, так и с эпизодическими, но мощными водными потоками; на равнинах они имеют линейное и концентрическое развитие, характеризуются восходящей и нисходящей направленностью, не считаясь с уклонами местности. Потоки гумидного типа преимущественно развиваются в соответствии с морфоструктурными условиями, имеют водный генезис и отличаются нисходящим развитием. Автором выделены 12 законов аридной геоморфологии: 1) всеобщности: ветровая деятельность проявляется практически повсеместно на Земле и на других планетах; 2) отражения проявления эоловых процессов в рисунке песчаного рельефа крупных аридных равнинных территорий; 3) действия эолового процесса как бы “не считаясь” с притяжением Земли; 4) о трех составляющих эолового процесса: разрушение исходных пород и осадков, их перенос и отложение; 5) взаимодействия дефляции и аккумуляции в функционировании эолового процесса и создании эоловых морфогенетических систем; 6) двух типов переноса вещества – площадного и потокового при преобладании последнего; 7) широкого диапазона размерности транспортируемого обломочного материала; 8) пульсирующего характера эолового процесса; 9) приуроченности наиболее крупных песчаных пустынь к пологим впадинам исходного рельефа; 10) совместного действия эолового и флювиального процессов в формировании эолового рельефа; 11) развития эрозионных форм аридных и экстрааридных регионов; 12) функционирования крупных рек аридной зоны.

Ключевые слова: законы аридной геоморфологии, эоловый рельеф, ветровая деятельность, дефляция, корразия.

Введение

Цель предлагаемой работы – сформулировать и обсудить законы аридной геоморфологии, содержанием которой, как известно, является изучение морфологии и эволюции рельефа засушливых областей под влиянием ветровой и флювиальной деятельности. Приведем несколько наиболее интересных и нужных для данной работы примеров законов природы.

Великий русский ученый М.В. Ломоносов в своих трудах неоднократно упоминал и рассматривал законы природы, говоря, что согласие всех причин – самый постоянный из них [1]. Он писал, что видимые сейчас на Земле явления и весь мир были не в таком состоянии “с начала создания”, как сегодня; что “великие происходили в нем перемены”, о чем свидетельствует сравнение истории и древней географии с современной [2].

За два века до М.В. Ломоносова Мишель Монтень в созданных им в эпоху Позднего Возрождения “Опытах” (во второй половине XVI в. – начиная с 1570 г.), детально

рассматривая законы природы, выделил из них шесть главных. Он писал, что законы природы определяют наши истинные потребности; мы же всегда все сами себе усложняем, стремясь опережать природу и заменяя ее законы своими правилами; что ничто не подвержено постоянным изменениям, как законы; что они приобретают тем большую силу, чем они древнее и дольше применяются; что законы обрекают нас на невозможность выполнять их веления, и они же судят нас за невыполнение этих велений; и ничто на свете не несет на себе такого тяжелого груза ошибок, как эти законы [3].

Фактически, М.В. Ломоносов предложил законы природы, а М. Монтень в большей мере сосредоточился на отношении самого человека к ним.

В XX в. – в эпоху бурного развития советской науки – многие ученые занимались выявлением законов и закономерностей (эти термины используются нами как синонимы). Впервые я познакомился с геоморфологическими законами в докладе “Основные законы развития рельефа земного шара” выдающегося советского ученого – геолога, философа и геоморфолога Б.Л. Личкова, прочитанном им на Втором всесоюзном географическом съезде в Москве в 1948 г. В докладе были выделены и обоснованы шесть законов геоморфологии для макроформ рельефа: 1) смежности, одновременности и сопряженности “воздымательных и опускаательных движений” (термины Б.Л. Личкова. – *В. Ч.*); 2) равенства поднятий и опусканий земной коры; 3) ступенчатости расчлененного горного рельефа и многочисленности поверхностей выравнивания в его пределах; 4) сопряженного создания денудационных поверхностей гор и окружающих их аллювиальных равнин; 5) пенеппенизации и снижения горных систем в этапы уменьшения контрастов рельефа и 6) наложения поверхностей выравнивания [4]. Законы Б.Л. Личкова отражают существенное, устойчивое и повторяющееся соотношение главных геоморфологических явлений, представляя “форму всеобщности” в понимании Ф. Энгельса [5].

В проблеме выделения и развития законов природы фундаментальными являются труды А.А. Григорьева о поисках закономерностей морфологической структуры земного шара (1935), о некоторых основных физико-географических закономерностях (1937), о законе интенсивности физико-географического процесса (1943), о периодическом законе географической зональности (1956), о закономерностях строения и развития географической среды, опубликованные в монографии 1966 г. [6].

Согласно установившемуся мнению, законы природы и общества составляют три группы: 1) законы специфические, или частные, 2) законы для больших групп явлений и 3) законы всеобщие, или универсальные [7]. Эта схема, однако, противоречива и с трудом используется в целях работы. Д.А. Тимофеев весьма удачно сформулировал три главных закона геоморфологии – закон взаимодействия сил, закон расчленения-выравнивания и закон усложнения [8], которые могут быть отнесены как ко второй, так и к третьей группе, Г.Ф. Уфимцев поддержал их выделение, сделав упор в своей теоретической работе на закон усложнения [9]. Д.А. Тимофеев в своей работе подробно рассматривал геоморфологические законы Б.Л. Личкова, и это, и содержание выделенных им законов говорят в пользу фундаментальности последних.

Классики о законах аридной геоморфологии

Знания о ветрах, законах и закономерностях ветровой деятельности и их роли в формировании современного рельефа возникли на заре человеческого общества и менялись на протяжении его истории. Очень интересным этапом изучения ветров было раннее доисторическое – во многом мифическое – время. Ветровая стихия рассматривалась многими народами в качестве мощной силы, которой могут управлять боги и целые семьи богов (например, Эол) в различных целях [10]. Природа ветров считалась божественной. На этом этапе возникла проблема управления, предсказания и использования их деятельности. Великие мыслители древности Платон, Аристотель, Овидий, Гесиод и др. в своих трудах неоднократно обращались в этом вопросе. В Средиземноморье проявления ветров были изучены весьма тщательно в связи с не-

обходимостью их использования парусным флотом, как в Средиземном море, так и в Атлантическом океане. В древней Александрии и в Афинах в целях их предвещения создавались башни ветров, из которых сохранилась лишь одна – греческая.

В современную эпоху были изучены и сформулированы главные законы и закономерности проявления рельефообразующих процессов в пределах аридных регионов. Й. Вальтер в своей классической монографии “Законы образования древних и современных пустынь”, вышедшей в 1898 г. [11], сформулировал серию закономерностей и правил развития рельефа аридных и экстрааридных регионов в следующем порядке: 1. Всякая пустынная область литогенетически эквивалентна морскому бассейну. 2. В пустынных областях, лишенных стока, могут происходить современные события катастрофического характера. 3. Существенный характер пустыни состоит в отсутствие стока. 4. Для пустынь характерно сухое выветривание в условиях действия крепких растворов и высоких температур. 5. Обломки пород, лежащие на поверхности пустыни, покрыты “бурой защитной коркой”, т.е. пустынным загаром. 6. В пустынях преобладает физическое выветривание. 7. Быстрые переходы от высоких дневных температур к низким ночным вызывают образование трещин в скальных породах и разрушение последних. 8. Преобладающим процессом в транспортировке песчаного и пылеватого материала является “дефляция” (введенный Й. Вальтером термин, в отличие от шлифующей “корразии”). Дефляция – главная причина формирования пустынного рельефа. 9. Наряду с обширными песчаными пустынями формируются каменистые пустыни, песчаниковые горы, слепые долины, или карманы. 10. Характерен микрорельеф пчелиных сот, каменное решето и каменные зубцы на стенах. 11. Часто встречаются колоннады, узкие длинные углубления, моря скальных глыб, камни типа “кочна капусты”, амфитеатры, горы-свидетели. 12. Обычны долины сильных временных потоков – вадии и каменистые ущелья, созданные бурными ливнями. 13. Для всех пустынь характерны редкие мощные ливни. 14. Широко распространенные в пустынях бессточные впадины и озерные котловины имеют дефляционный генезис. 15. Для озер пустыни характерен непостоянный уровень воды. 16. Нередко озера пересыхают и их днища превращаются в такыры, или себхи. 17. Для песчаных пустынь характерен рельеф береговых и первичных щитовидных дюн, дюн формы сердца, полумесяца, барханы и дуговидные дюны.

Приведенные 17 положений, или канонов, являются, по мнению Й. Вальтера, законами и содержат сведения о связи эолового и флювиального рельефообразования. Это не случайно и весьма важно. Ф. Рихтгофен рассматривал происхождение лёссов под влиянием двух факторов: переноса ветром и переотложения дождевыми водами [12]. В.М. Дэвис писал о том, что аридное рельефообразование связано с гумидным и может являться продолжением, развитием последнего [13], что “...процесс и продукты аридной эрозии могут рассматриваться как климатические разновидности гумидной эрозии...” [14, с. 422].

Среди представлений В.М. Дэвиса особенно интересна стадия старости – предпоследняя стадия ненарушенного цикла (последней стадией будет совершенно плоская равнина): “вершины и склоны возвышенностей, так же, как и днища долин, достигли состояний выравненности. Никаких новых форм не образуется, а те, которые образовались ранее, снижаются и даже полностью уничтожаются. Выявление податливых структур и выработка долин вдоль них уже полностью закончилась; большие реки свободно меандрируют в открытых долинах и начинают отклоняться от направлений, выработанных ими в период зрелости. Реки, бывшие активными в период зрелости, теряют свои верховья, так как количество выпадающих осадков уменьшается ввиду уничтожения возвышенностей, сток дождевой воды замедляется вследствие пологости склонов и мощности почв. Ландшафт, ранее состоявший из резких форм рельефа, медленно теряет свою определенность, он всюду доступен и представляет чередование пологих повышений с неглубокими долинами. С течением времени рельеф все снижается и снижается, превращаясь в почти полную равнину (пенеплен), где нет и следов возвышенностей, существовавших в юности, не отражаются дислокации и различия стойкости пород и мало соответствия со структурой. В дальнейшем развитие

определяется тем, что этот ландшафт лежит невысоко над базисом эрозии. Такой рельеф характеризует *предпоследнюю* стадию ненарушенного цикла; *последней* (выделено авт. – В. Ч.) стадией будет совершенно плоская равнина” [13, с. 20].

В.М. Дэвис в своей известной работе “Географический цикл в аридном климате”, опубликованной в 1905 г. [14] отмечал, что главными агентами, формирующими как аккумулятивные днища впадин, так и их расчлененные края на ранних стадиях цикла, являются потоки, паводки и озера. Однако большое значение имеет также ветер: значительная эрозия совершается ветропесчаными потоками; еще более важна транспортирующая работа ветра, который уносит зернистые обломки с обнаженных возвышенностей и откладывает их в более защищенных понижениях, поднимает тонкую пыль высоко в воздух и далеко разносит ее. Своеобразие деятельности ветра состоит также в том, что ее не направляют склоны и не задерживают водоразделы, которые управляют водотоками и речными системами. Действительно, ветры, подобно водотокам, в общем стремятся снизить возвышенности и заполнить впадины; но песок может перемещаться и против уклона – в Аризоне и Орегоне дюны взбираются на крутые склоны и обрывы, а тонкая пыль, поднятая вихрями и пыльными бурями, разносится воздушными течениями, мало считаясь с уклонами земной поверхности, лежащей далеко внизу. Кроме того, ветровая эрозия стремится выработать мелкие понижения или котловины; вся область служит для ветра ложем и, следовательно, до некоторой степени является аналогом русла реки, где котловины довольно обычны. Однако на ранних стадиях цикла, где начальное расчленение было сильным, деятельность ветра не способна выработать углубления на первичных склонах, которые подвергаются активному воздействию водотоков и паводков, и крутизна которых по временам даже увеличивается. Поэтому на стадии юности котловины выдувания, как правило, не образуются. «Важно подчеркнуть, что значительный объем материала (хотя это составляет незначительную часть всего обломочного материала, переносимого и перекатываемого ветром) может быть полностью удален и “экспортирован” за пределы аридной области... Можно... предполагать, что процесс эрозии (ветровой. – В. Ч.) и перенос обломочного материала в пустынных областях должен сопровождаться отложением тонкого обломочного материала – в виде лёссовых покровов, например, на соседних, менее аридных пространствах, особенно в направлении преобладающих ветров. В областях со слабыми ветрами разных направлений процесс удаления песка и пыли будет, очевидно, исключительно медленным; в областях с постоянными ветрами он также окажется значительно более медленным по сравнению с обычной скоростью удаления обломочного материала в юных или зрелых областях с обильными дождями и нормальными реками. Однако именно в результате этого медленного процесса средняя высота аридной области... будет постепенно и непрерывно снижаться; поэтому следует предполагать, что ранние стадии аридного цикла более продолжительны, чем соответствующие стадии нормального цикла» [14, с. 41].

В.М. Дэвис также отмечал, что в то время, как активность водотоков и паводков уменьшается с уменьшением глубины расчленения и крутизны склонов, на активности ветров наступление зрелости почти не отражается. Гравитационное ускорение ветров не зависит от уклонов поверхности суши; они могут неистово дуть и эффективно действовать и на плоской поверхности. Действительно, ураганы наиболее активны на стоящих равнинах. С уменьшением расчлененности роль ветров в переносе обломочного материала будет все больше и больше выходить на первый план; таким образом, более медленная денудация на ранних стадиях аридного цикла может быть частично уравновешена относительно более активным развитием на поздних стадиях.

Рассматривая геоморфологические последствия деятельности ветра в представлениях В.М. Дэвиса, вспомним, что он долгие годы читал курс лекций по метеорологии и был высококлассным специалистом в этой области. Из этих работ нам наиболее интересна его капитальная монография – университетский учебник “Элементарная метеорология”, содержащая анализ зарождения и прохождения бурь, торнадо и циклонов. На составленных Дэвисом рисунках показано, что шквальный ветер возникает, когда надвигается край грозового облака. Ветер бушует вдоль земли и поднимает об-

лака пыли. Вслед за ним идет дождь. Шквал создается особым вихревым “роторным” облаком. На других рисунках показаны стадии развития грозового облака, а также башенное облако, прорывающее наковальню [15].

Говоря о стадии начала старости, Дэвис отмечает, что по мере снижения зрелых расчлененных возвышенностей количество осадков уменьшается, а текучие воды слабеют и иссыкают. Таким образом, ветры со временем становятся главными агентами эрозии и транспорта. Так как у ветров нет связей, аналогичных связям малых притоков и больших главных рек в речных системах, эродированная ветрами поверхность не будет неизбежно наклонена к какому-либо центральному району, а может быть повсеместно снижена до одного и того же уровня. Поверхность, повсеместно сниженная, обломочный материал, неравномерно смываемый вследствие переменного разобщения системы стока и постоянно удаляемый ветрами, неглубокое залегание коренных пород, нигде не несущих мощного покрова осадков, и медленно понижающихся по мере удаления песка и пыли – все это развивается на все большем пространстве, составляя условия равновесия стадии старости. Наконец, по мере более полного удаления обломочного материала, пустынная равнина может оказаться сниженной до более низкого уровня, чем уровень самой глубокой начальной впадины, и тогда повсюду – за исключением участков, где еще сохранились монадноки, – будет господствовать каменистая поверхность, прикрытая тонким слоем обломочного материала и не связанная с нормальным базисом эрозии. “Это обобщение, которому мы обязаны Пассарге. Мне кажется, что по своей ценности оно уступает только поуэлловскому выводу в отношении всеобщего базиса эрозии” [14, с. 47]. Этот важный вывод крупного немецкого ученого-аридника В.М. Дэвис называл законом З. Пассарге.

З. Пассарге и В.М. Дэвис придавали особо важное значение выположенности аридных равнин на больших пространствах. З. Пассарге считал, что равнины выделенного им ландшафта островных гор более ровны и плоски, чем мог бы быть любой пенеплен, и описывал их как “истинные равнины” [16]. Этому ученому принадлежит известная морфологическая классификация островных гор, а также климатическая типизация строения засушливых равнин с островными горами. З. Пассарге выделял в Южной Африке три типа аридных равнин с видоизмененным климатом. Тип Кордофана характеризуется слабым увеличением количества дождей, развитием степной растительности; более крупные останцовые горные возвышенности окружены смывными отложениями, размерность которых уменьшается книзу, и у подножий островных гор формируются болотистые пространства. Второй тип – Адамауа – характеризуется значительным увеличением атмосферных осадков и расчленением исходной пустынной равнины с островными горами. Третий тип – Ровуна – отличается тем, что на поверхности исходной денудированной пустынной равнины залегают морские меловые осадки умеренной мощности [16].

Сопоставляя гумидные и аридные районы, В.М. Дэвис отмечал, что если разветвленные системы речных долин обычны и для тех, и для других, то строение подгорных равнин в их пределах резко различается. Склоны расчлененных гумидных гор покрыты лесной растительностью и переходят в плодородные долинские днища. Склоны зрелых расчлененных аридных гор каменистые, покрыты глыбами скальных пород и переходят книзу в обнаженные педименты. Анализируя различия между гумидными и аридными процессами, Дэвис писал, что “и в гумидном, и в аридном климатах происходит струйчатый смыв и наблюдается течение грунта, но в гумидных районах для течения грунта имеются благоприятные условия, тогда как действию струйчатого смыва препятствуют покрытые мощной почвой залесенные склоны зрело расчлененных гор. В аридных же районах для струйчатого стока создаются более благоприятные условия, тогда как процесс течения грунтов ослабевает ввиду маломощности каменистых почв на коренных или обнаженных склонах зрело расчлененных гор...; в гумидных районах реки редко пересыхают, за исключением самых верхних течений в период летней засухи, тогда как в аридных районах постоянные реки редко встречаются; вода в них течет лишь на отдельных участках в короткие периоды после дождей” [14, с. 446]. Действительно, роль ветровой эрозии в развитии долин аридных областей весьма значительна.

Приведенные ниже данные Н.И. Маккавеева подтверждают это положение. Дэвис также отмечал, что и в гумидном, и в аридном районах водотоки с течением времени выработывают выровненный продольный профиль, но при этом водотоки с выровненным профилем в аридных районах бывают более сильно нагружены крупным обломочным материалом и поэтому имеют более крутое падение. Между гумидными и аридными – в основном гранитными – горами существуют весьма серьезные различия в формировании угла наклона склонов; в первом случае по мере развития эрозионного цикла угол наклона уменьшается, во втором он остается постоянным. В аридных районах на юной стадии долинной эрозии формируются обнаженные и крутые скалистые склоны, и после достижения зрелой стадии, когда склоны покрыты глыбами, крутизна их остается практически неизменной. Кирк Брайан писал, что под действием медленных, но непрерывных процессов выветривания и сноса продуктов на выровненных гранитных склонах “фронт гор отступает, сохраняя свой угол наклона, соответствующий расположению трещин и зернистой структуре гранита” [14, с. 448]. По мере того, как горные массивы разделяются на холмы, напоминающие островные горы, “каждый из холмов сохраняет склоны одинаковой крутизны с первичными горами, но постепенно уменьшаются в размерах, пока последние останцы, представляющие собой скопления глыб или одиночные скалы, не будут выдаваться над общим уровнем педимента... Контраст между постоянством уклона горных склонов в аридных условиях и постепенным уменьшением уклона горных склонов в гумидных условиях согласуется с контрастом между резким, почти угловатым переломом в склоне, наблюдающемся при переходе к педименту в гранитных аридных горах, и плавным переходом от склона к дну долины в гумидных горах” [14, с. 448].

Особый интерес для нашего исследования представляет сравнение В.М. Дэвисом останцовых холмов на пенепах с островными горами на педиментах. Первые имеют меньшие размеры и характеризуются плавными очертаниями в плане и поперечном профиле, вторые более крупные, резко отделяются от окружающих их каменистых равнин и сохраняют углы наклона склонов вплоть до их исчезновения. Важно отметить, что здесь В.М. Дэвис еще раз подчеркнул, что холмы гумидных пенепах и островные горы педиментов сложены теми же породами, что и окружающие их равнины. Два типа форм – островные горы и останцовые холмы – расположены на противоположных концах аридно-гумидного ряда, который включает много переходных форм. “...И, хотя последовательные члены такого ряда должны переходить один в другой, формы противоположных концов этого ряда являются столь же непохожими как ранняя юность и поздняя старость... или как тропический и полярный климаты, являющиеся крайними членами ряда промежуточных климатов” [14, с. 448].

Интересны взгляды В.М. Дэвиса на особенности строения коренного ложа гумидных пенепах и аридных педиментов. Первые покрыты мощной толщей продуктов разрушения, вторые – тонким, прерывистым плащом наносов. И те, и другие подвергаются более или менее мощному выветриванию, “обнаженная коренная поверхность аридных педиментов очень сильно растрескивается, раскалывается на куски и крошится” [14, с. 452]. В.М. Дэвис считал, что “вовлечение и перемещение обломочного материала паводковыми водами по склону коренного ложа долины в гумидном климате можно уподобить процессам загрузки и переноса обломков вниз по склону плоскостными потоками на каменистом педименте в аридном районе” [14, с. 452].

О роли дефляции в формировании долин и, особенно, пойм и аллювия в гумидных и аридных регионах В.М. Дэвис писал: “начинающийся после стадии зрелости размыв аккумулятивной поймы (гумидных районов. – В.Ч.)... можно сопоставить с возобновляющимся после стадии зрелости размывом аллювиальной равнины аридных районов, вызванным, во-первых, уменьшением количества наносов, поступающих со сниженных островных холмов верховий, и, во-вторых, понижением межгорного бассейна в результате эолового выдувания; ибо подобная дефляция – весьма активный агент разрушения в аридных регионах на поздней стадии развития, когда в процессе расчленения рельеф оказался сниженным, а обломочный материал, поступающий в бассейн, приобрел более тонкую текстуру, чем на предыдущих стадиях” [14, с. 453].

Приведенные выше сравнения позволили В.М. Дэвису “считать цикл аридной эрозии климатической разновидностью цикла гумидной эрозии, но в то же самое время очень желательно и действительно важно выявить и подчеркнуть различия как в процессах, так и в результатах, которые делают эти два цикла столь отличными друг от друга” (выделено авт. – В.Ч.) [14, с. 454].

Среди многочисленных отечественных ученых-эолоистов заметно выделяется Б.А. Федорович [17]. Ему принадлежат данные о закономерностях формирования преимущественно песчаных пустынь. 1. Основные черты макрорельефа песчаных пустынь, их геологическое строение и минералогический состав песков свидетельствуют о том, что большинство песчаных массивов мира являются древними аллювиальными равнинами. 2. Суровые условия жарких пустынь с их резко континентальным и сухим климатом способствуют разрушению горных пород. Нередко песчаные пустыни формируются за счет переноса песков сезонными потоками. 3. Десквамационные и эоловые процессы могут создавать макрорельеф пустынь и в таких районах, где роль речной аккумуляции ничтожна. 4. Песчаных пустынь меньше, чем пустынь на месте древних аллювиальных равнин, макрорельеф которых связан с деятельностью моря. 5. Особым случаем являются такие пространства песчаных пустынь, макрорельеф которых обусловлен эоловой трансгрессией, т. е. надвижением песчаного чехла на чужеродные образования. 6. Ветер – основной творец рельефа пустынь, создающий в большинстве случаев не макрорельеф, а их мезо- и микрорельеф, хотя размеры создаваемых им песчаных скоплений нередко превышают сотни метров и ровное место в рельефе песчаных пустынь трудно найти. 7. Созданный ветрами рельеф песков пустыни, прежде всего, зависит от режима таковых, который определяется соотношением скоростей и повторяемости “активных” ветров, дующих со скоростью более 3 м/сек. 8. Растительность принадлежит к числу мощных факторов рельефообразования песков, однако, не активных, как ветер, а пассивных. 9. В зависимости от зонально-ландшафтных условий различаются три основных типа эолового рельефообразования песчаных пустынь: интенсивный повсеместный на оголенных песках; ослабленный повсеместный на полужакопленных песках внетропических пустынь; ослабленный очаговый на полужакопленных песках внепустынных областей (типа параболических дюн). 10. В одинаковых ландшафтных условиях закрепление растительностью продольных ветрам форм рельефа песков происходит значительно легче, чем форм, поперечных ветрам. 11. Аналогично этому в пустынях других континентов районы с пассатными ветрами (например, в Калахари) могут иметь рельеф полужакопленных песчаных гряд, а пустыни муссонных ветров (например, Намиб) обладают поперечным оголенным рельефом. 12. Рельеф песков на Земле является отпечатком аэродинамических процессов и имеет четыре основных динамических типа: а) пассатный, образующийся при ориентированных ветрах одного или близких направлений; б) муссонно-бризный, возникающий при сезонной смене и торможении ветров противоположных направлений; в) инверсионный, образующийся в местах с равномерной розой ветров и восходяще-нисходящими потоками; г) интерференционный, возникающий в местах интерференции основных воздушных потоков с отраженными от орографических преград. 13. Во всех своих проявлениях рельеф песков настолько закономерен и гомогенен, что дает точные данные для решения ряда сложных проблем аэродинамики, особенно нижней тропосферы. 14. Знание динамики эолового рельефообразования песков позволяет легче разрешать сложные вопросы борьбы с песчаными наносами, вопросы облесения песков и превращения их в высокопродуктивные земли. 15. Формирование песчаного эолового рельефа в своей эволюции идет от простых форм – ряби, застрогов, песчаных косичек – к барханам и более крупным и сложным формам. 16. Важной чертой эолового развития рельефа является тройственность проявления этого единого процесса, связанная в первую очередь с силой ветра – главным, ведущим фактором. В результате обособляются области с разными типами работы ветра, где доминируют: 1) дефляция со среднегодовой скоростью ветра более 4–5 м/сек; 2) перевевание и аккумуляция песков со среднегодовой скоростью ветра от 2.5–2.0 до 4 м/сек; 3) аккумуляция пыли со среднегодовой скоростью ветра менее 2.5–2.0 м/сек. Приведенные данные развивают

упомянутые выше каноны Й. Вальтера и вносят много нового, оригинального в понимание вопросов эолового рельефообразования.

Н.И. Маккавеев показал как связано формирование флювиального и эолового рельефа. Он писал о том, что каждая вспышка русловой эрозии должна сопровождаться вспышкой эоловой эрозии, увеличением развеваемых отmelей и усилением лёссовобразования, что вдоль долин нередко дуют устойчиво переносящие пыль ветры [18]. Г.А. Ларионов развил это положение, рассматривая долины таких рек, как Обь, Енисей и Лена в качестве крупных каналов ветровой эрозии [19]. Н.И. Маккавеев с соавторами [20] показал на примере аккумулятивной равнины верхней Оби, что в ее пределах во время каждого шторма с левобережной части русла ветром удаляется значительный слой песка, который отлагается в правой части долины. Поэтому песчаные отmelи на правом берегу русла поднимаются над меженным уровнем более, чем на 2 м, а на левом – всего около 1–1.5 м. Систематическая убыль песчаного материала в левой части русла и аккумуляция в правой сказываются на смещении всей реки влево – в сторону подветренного берега, то есть *эоловые процессы усиливают тенденцию реки отклоняться влево и способствуют формированию асимметричного поперечно-го профиля долины р. Оби на ее меридиональном участке.*

Приведем ряд закономерностей в формировании эрозионной сети в аридных регионах, содержащихся в монографии Н.И. Маккавеева [18]. При увеличении сухости климата общее уменьшение количества воды вызывает не только отмирание верховий рек, но и блокирование участков, а также способствует разрыву речной системы. “Глубина врезания речных долин служит одним из показателей, по которому можно судить об относительной интенсивности эрозии, если, конечно, глубина долины не является результатом имевшей место в прошлом эрозии более интенсивной, чем современная. Например, Патагонская пустыня изрезана глубокими каньонами, но во многих из них на памяти людей никогда не было воды” [18, с. 88].

В аридных областях при больших потерях на испарение и фильтрацию поток может существовать только при наличии крутого продольного уклона и малой емкости русла. “Если эти условия нарушаются (если река начинает интенсивно расширять дно долины, что вызывает увеличение потерь расхода), река отмирает, так и не образовав той формы, которую Дэвис называет “зрелой”. Примерами подобных долин “умерших в юном возрасте” рек являются упоминавшиеся выше каньоны Патагонского плато. В подобных случаях, следовательно, резкость эрозионных форм и узость долин являются признаками не интенсивности, а, наоборот, ослабленности эрозионных процессов” [18, с. 90].

В результате деятельности ветровой эрозии, которая делает неровности рельефа еще более резкими, территории “старых” пустынь по своему облику рельефа весьма отличаются от картины “пустынного пенеплена”, к которому, согласно схемам Дэвиса, “стремится зрелый цикл” развития рельефа. “Чем суше климат, тем более устойчивы карбонатные породы, которые в условиях пустынь иногда слагают останцовые возвышенности, выступающие над гранитными массивами” [18, с. 123].

Из ряда научных исследований известно, что эрозионные формы в аридных областях поражают своей резкостью – “юностью”, тогда как изучение эволюции рельефа поднятия и прилегающих равнин показывает, что современные аллювиальные наносы здесь формируются редко или, во всяком случае, мало заметны. “Короткий склоновый сток наблюдается даже в самых сухих пустынях, так как там выпадают, хотя и очень редко, сильные ливни. Слабая защищенность верхнего слоя почвы растительностью и слабая начальная фильтрация в сильно пересохшие грунты создают благоприятные условия для склоновой эрозии. Однако, трудно судить, насколько велики здесь средние объемы сносимого материала в многолетнем разрезе по сравнению с объемами, переносимыми эрозией в более влажных областях” [18, с. 136].

Описания мощной энергетики временных потоков аридных регионов противоречат многочисленным фактам о крайне малом результате эрозии в многолетнем разрезе. Только в пустынях и полупустынях наблюдаются сбросы в скальных породах, у которых зеркала скольжения не носят практически никаких следов эрозии; кристаллы гипса на дне высохших водоемов сохраняются светлыми и блестящими. В пустынях

Синяя древние, с возрастом в 5000 лет изображения в песчаниках сохранились необычайно отчетливо. Л.С. Берг отмечал, что за 7000 лет здесь не был денудирован даже тонкий слой песчаника. В Сахаре отчетливо видны доисторические рисунки на поверхности скал. Тончайшая корочка, пленка пустынного загара сохранила от действия дождя, ветра и температурного выветривания борозды незначительной глубины, проведенные многие тысячи лет назад. Так что нет ничего удивительного в том, что на космических снимках высокого разрешения на поверхности межгорных равнин Синайского п-ова чрезвычайно свежо выглядят следы танковых траков Шестидневной войны, возраст которых более десяти лет.

“Отчетливость эрозионных форм... в пустынях является следствием... замедленности процессов денудации. Достаточно раз в течение нескольких десятков лет или даже сотен лет пройти сильному ливню, чтобы следы эрозионной деятельности сохранялись в свежем состоянии. Наглядным подтверждением этого положения является хорошая сохранность староречий в пустынях. Русло Узбоя сильно напоминает реку, а между тем несколько столетий по этому руслу не проходило ни капли воды” [18, с. 137]. И далее: “Единственный агент, который стирает следы водной эрозии в пустынях, – ветер – не всегда может проявить свое действие... Часто ветровая эрозия способствует обострению форм эрозионного рельефа: удаляет скопления элювия, делювия и аллювия, сглаживающие неровности склона, и в результате такой препарировки эрозионные борозды выделяются необычайно отчетливо. Области усиленной ветровой эрозии всегда характеризуются резкостью форм мезорельефа” [18, с. 137].

В рассматриваемой монографии приводятся известные, но ныне почти забытые факты об осаждении золовой пыли, вынесенной из речных долин, и о погребении древних построек лёссовым материалом. Так, на развалинах античной Ольвии накопилось 2–2.5 м золовых наносов, на могильниках Мукдена 2000-летнего возраста – около 2 м лёсса. Б.А. Аполлов [21] показал, что в Каспии в 60 км от берега ежегодно накапливается слой золовых осадков мощностью 0.28 мм.

Рассматривая особенности блуждания русел рек, Н.И. Маккаев отмечал, что, наряду с рядом гидрологических причин, непрерывное боковое смещение русел свойственно рекам с относительно зарегулированным стоком, малым содержанием наносов, “а также рекам, находящимся под воздействием сильных и совпадающих с направлением ускорения Кориолиса боковых ветров” [18, с. 138]. Таким образом, в пределах долин ветровая деятельность проявляется разнообразно: от энергичного переноса песчаного материала с обсохших отмелей, рассмотренных выше, до бровок и поверхностей речных террас [22, 23].

Для развития аридной геоморфологии чрезвычайный интерес представляют также рассмотренные Н.И. Маккаевым вопросы о климатических изменениях на территории Средней Азии в последнем тысячелетии; особенности ветровой деятельности в долинах рек; о ветровой сортировке золовых песков, о перекрытии русел рек движущимися песчаными золовыми формами, о первичных формах русел в аридных регионах; об особенности эрозионной сети аридных регионов, флювиальной ярусности рельефа, явлении отрыва притоков реки от главного русла, о единстве эрозионных систем; о формировании дельт крупных рек и определении интенсивности эрозии в их бассейнах, об интерпретации глубин эрозионных врезов в аридных регионах, о влиянии на ширину долины грунтовых вод и склонового стока, о густоте подземной сети корней пустынных растений, об эрозионном рельефе пустынь и особенностях антропогенного преобразования последних.

Законы аридной геоморфологии

На основании многолетних личных наблюдений автора и анализа научной литературы – часть ее рассмотрена выше – предлагается ряд законов аридной геоморфологии.

Первый закон – закон всеобщности, “всюдности” (термин В.И. Вернадского) проявления золового процесса. Его смысл в том, что ветровая деятельность проявляется

практически повсеместно на Земле и на других планетах, но формирует эоловый рельеф при стечении ряда факторов. Например, песчаные формы развиваются преимущественно на плоских, близких к горизонтальным поверхностях. По данным некоторых исследователей [24], ветер выносит с поверхности Земли в Космос частицы солей и таким образом является единственным земным экзогенным фактором, связывающим ее с Космосом. Постоянных штилевых областей и районов на Земле нет. Почвенный покров Земли все время наращивается за счет привноса эолового материала, крайне-аридные почвы характеризуются эоловым переносом солей, накоплением эолового материала в клиньях-трещинах, дефляцией рыхлых горизонтов и проч. [25–27]. Разнообразны изменения ветром растительности. Из них наиболее наглядны флагообразные деревья и корни деревьев и кустарников, “продутые” ветром. Огромны геоморфологические последствия деятельности ветра в долинах рек – от обсохших, периодически затопляемых отмелей и вплоть до высоких террас.

Заметна роль ветра в формировании общей системы морских течений и рельефа поверхности Мирового океана. Все континенты в пределах всех природных зон подвергаются интенсивным ветровым изменениям. Эоловый рельеф развит вдоль всей гипсографической кривой – от береговой зоны океана до высоких нагорий. Реликтовые, ныне сцементированные эоловые дюны, сформированные во время климатического минимума позднего плейстоцена – 21–17 тыс. л.н. – сохранились под уровнем Северного и Южно-Китайского морей. На песчаных побережьях Мирового океана развит динамичный эоловый рельеф [28, 29]. Катастрофические ветровые заносы здесь начались с XVI–XVII вв. В трудах Парижской академии 1722 г. записано, что “участок земли протяженностью в шесть миль в области Св. Павла де Леона в Нижней Бретани” (северо-запад Франции) был подвержен в 1666–1722 гг. таким сильным бурям, что полностью занесен песком, “в последние годы, кроме шпицов башен и труб, ничего больше не было видно” [30, с. 27].

Известно (по С.В. Калеснику [31]), что лед является горной породой, но в генезисе ледниковых покровов и ледников имеется эоловая составляющая. Эоловый процесс создает неповторимый и разнообразный дефляционный и аккумулятивный рельеф пустынь аридных стран. Энергия ветровых потоков весьма значительна вблизи земной поверхности и огромна в пределах тропосферы. Не совсем ясна нижняя граница проявлений эолового процесса, но то, что он проникает местами под земную поверхность и в отдельных случаях действует мощно, является доказанным фактом. Наиболее яркими примерами являются впервые описанные В.А. Обручевым сильные восходящие из подземных полостей ветры в Долине Бурь в Центральной Азии [32]. Впрочем, сильные подземные ветры были известны и ранее [30]. Огромная энергия эолового процесса лишь в незначительной мере используется на поверхности Земли многочисленными ветро-энергетическими установками, но большая ее часть пока бесполезно для человечества “работает” в тропосфере. Таким образом, вынужден повторить, что, несмотря на свою внешнюю простоту, эоловый процесс “всюден” и его повсеместность является содержанием первого закона аридной геоморфологии.

Второй закон: эоловый процесс возникает в результате проявления в воздушной сфере Земли широкого спектра атмосферных процессов от макроциркуляционных до местных. В.А. Обручев предположил, а Б.А. Федорович [17] и М. Майнгуэт [33] на основании дешифрирования аэрофотоснимков доказали, что пространственный рисунок песчаного рельефа Средней Азии и Северной Африки полно отражает проявление макро- и мезоциркуляционных процессов. Проведенный позже зарубежными геоморфологами анализ космических материалов по песчаным массивам пустынь Большой Западный и Большой Восточный Эрг в целом также подтвердили овалный рисунок строения этих массивов [34].

Третий закон: эоловый процесс может действовать как бы “не считаясь” с земным притяжением. Восходящие потоки воздуха, по мнению Н.И. Маккавеева, отличаются мощной энергией, благодаря которой пески забрасываются на значительные высоты. Многие исследования подтверждают это положение. Создаваемые сильными ветрами

песчаные надувы изучались В.А. Обручевым в Селенгинской Даурии, С.С. Коржувым и О.А. Борсуком в долине р. Лены, Б.Ф. Агафоновым в Горном Алтае и многими другими. Выше отмечалось, что в пределах многих долин эоловые пески развиты на разных уровнях – от русла до высоких террас. Наблюдения автора в Восточной Монголии показали, что наиболее интенсивны процессы перемещения песчаного материала вверх по склону в случае, если разрушительные ветры подходят под прямым углом к последнему. В этом случае расположенный в основании разрушаемого склона наветренный участок оказывается буквально “выметенным” от песчаного материала и представляет собой обнаженную щетку коренных пород [35].

Четвертый закон: эоловый процесс имеет три составляющих: разрушение исходных пород и осадков, их перенос и отложение. В природе он проявляется весьма разнообразно. Выше упоминалась точка зрения В.М. Дэвиса о холмах в пределах аридных педиментов. Наши данные о строении холмов в пределах гобийского пенеблена свидетельствуют о том, что их форма и сохранность во многом зависят от характера слагающих пород. Так, холмы, созданные длительной дефляцией в крупнозернистых пегматитах, разрушены и пронизаны сильными ветрами (“являются решетом” по Й. Вальтеру) – они изобилуют сквозными пустотами, но в то же время характеризуются чрезвычайной устойчивостью во времени [36].

Пятый закон: эоловый процесс представляет собой взаимодействие двух главных процессов – дефляции и аккумуляции. Его основной смысл в том, что эти процессы создают уникальные эоловые системы, всегда открытые, динамичные, несимметричные, разной величины и возраста [37]. Характерной чертой эоловых морфодинамических систем является своеобразная “размытость” их границ – четкие морфологические границы только у начальной, элементарной системы, причем эта “размытость” увеличивается одновременно с увеличением размеров системы. Мобильность эоловых систем зависит от эволюции климатических процессов и от устойчивости циркуляционных процессов в частности. Резкая активизация подвижности систем происходит во время мощных ураганов [38]. Однако геоморфологическая результативность ветровой деятельности связана как с кратковременным мощным ураганым механизмом, так и с медленной повседневной деятельностью слабых ветров. Последняя крупная климатическая перестройка была связана с ледниковым периодом и существенно отразилась в рельефе и поверхностных осадках обширных внеледниковых территорий, в частности на строении эоловых тонкопесчаных отложений внеледниковой Северной Африки [39].

Шестой закон: эоловый процесс осуществляется в результате двух типов переноса вещества – площадного и потокового при преобладании последнего. Строго говоря, площадной эффект дефляции наблюдается редко и характерен для плоских, однородных в отношении структуры и состава, горизонтальных, лишенных растительности поверхностей. Чаще всего плащи песчаного материала появляются после их отложения маломощным плоскостным поверхностным стоком, который, кстати, также имеет преимущественно потоковую, струйчатую структуру. В целом для перемещения эолового материала характерна потоковая структура. Песчаные потоки разнообразны по величине и образуют ансамбль, который начинается с широких (до 500 км) песчаных потоков пыльных бурь (вспомним создаваемое ими “Море мрака”), с известных с древности крупных быстро текущих песчаных рек и кончается небольшими струйками эоловых песков, медленно обтекающих препятствия.

Седьмой закон: эоловый процесс в зависимости от подстилающего субстрата, может транспортировать обломочный материал различной крупности – от небольших глыб скальных пород до их обломков размерности щебня, дресвы, песка и лёссовой пыли. Например, новоземельская бора, буквально “падая” с горного хребта, отрывает ледяной припай вместе с прилегающими массами крупных обломков скальных пород. В узких крутосклонных ущельях аридных и экстрааридных стран мощные ветровые потоки способны разрушению вертикальных трещин скальных бортов и могут приводить к их обрушению. Ущелье Джунгарские Ворота практически полностью “выметено” от рыхлых отложений постоянными сильными ветрами.

Восьмой закон: эоловый процесс имеет пульсирующий характер. Механизмы пульсации могут быть различными, но наиболее действенным из них служит ураганый (см. пятый закон). Строго говоря, эоловый процесс является единственным, незамедлительно реагирующим на внешние климатические, в частности циклические изменения. Последние в современном рельефе песчаных массивов проявлялись неоднократно. Из наиболее результативных в морфологическом отношении представляются циклы солнечной активности – последний малый ледниковый период и его наиболее яркий представитель – маундеровский минимум (1675–1715 или 1645–1715 гг.). Результаты исследований автора показали, что внешне стабильный, преимущественно равнинный эоловый рельеф Восточно-Монгольской равнины быстро и энергично реагирует на это кратковременное изменение солнечной активности [40]. Учитывая кратковременность маундеровского минимума, мы начали изучать возможность еще более мелких осцилляций эолового рельефообразования на протяжении коротких периодов современной солнечной активности: минимума Оорта (1040–1080 гг.), средневекового максимума (1100–1250 гг.), минимума Вольфа (1280–1350 гг.), минимума Сперера (1450–1550 гг.), минимума Дальтона (1790–1820 гг.), а также современного максимума (1950–2004 гг.) и современного минимума, длящегося по настоящее время.

Девятый закон: большинство наиболее крупных песчаных пустынь приурочено к пологим впадинам исходного рельефа. В Сахаре эоловые осадки начинают преобладать с 12–13 тыс. л.н. [41]. Здесь мы вынуждены предположить, что во время начального периода формирования песчаных пустынь (например, в ряде североафриканских регионов – вторая половина позднего плейстоцена – ~16–15 тыс. л.н.) мощные и, возможно, сверхмощные ветры собрали, согнали и отсортировали песчаные отложения с огромных территорий, “упаковали” их во впадинах, и с тех пор эти осадки потеряли способность однонаправленного перемещения и приобрели возможность возвратно-поступательного колебательного движения в пределах впадин. По-видимому, такова схема динамики, например, крупных песчаных морей Больших Западного и Восточного Эргов в Северной Африке. Следующий этап – их преобразование – формирование уже в их пределах крупных впадин типа серии алжиро-туниССких шоттов и котловины Каттара в Ливийской пустыне [42]. Если удастся доказать дефляционный генезис последних, то снова возникает необходимость признания возможно кратковременного, но чрезвычайно мощного, может быть катастрофического проявления ветровых процессов, сформировавших эти впадины.

Десятый закон: эоловый процесс является ведущим в формировании эолового рельефа, но выше уже отмечалось, что последний создается не только постоянно дующими ветрами разной мощности, но и редкими, эпизодически проявляющимися разрушительными ливнями. И сильные ветры, и мощные ливни в аридных регионах проявляются весьма своеобразно, не всегда считаясь с принятыми для умеренных широт закономерностями. Этот закон является, по-видимому, общеизвестным, даже может быть выглядит тривиальным, но он, несомненно, является законом, и должен занять свое место в системе других законов аридной геоморфологии из-за постоянства проявления, действенности и конкретности.

Одиннадцатый закон: горный, холмистый и равнинный рельеф аридных и экстрааридных регионов характеризуется специфическим эрозионным расчленением: долины временных водотоков – вадии – закладываются при редких мощных ливнях, а моделируются постоянно проявляющимися эоловыми процессами. Аридные вадии весьма своеобразны по ширине и протяженности, крутизне продольного профиля и бортов и по другим характеристикам. Наиболее крупные и пологие из них наследуют долины древних рек [43], другие – небольших размеров и более крутые – молоды [44], но и те, и другие имеют подземный сток; их воды издревле интенсивно используются населением [45].

Двенадцатый закон: в пределах аридных и экстрааридных равнин могут развиваться весьма своеобразные речные долины. Крупные экстрааридные равнины северо-востока Африки дренируются Нилом – меридиональной рекой огромной протяженно-

сти, лишенной притоков, террас и текущей на значительных участках среди эоловых, местами подвижных песков. Заложение Нила относится к миоцену, а его направление и конфигурация долины контролируются разломной тектоникой. На протяжении 5–6 млн лет эта река устойчиво функционировала, вынося огромное количество обломочного материала, создавая и перестраивая крупную дельту [46]. В миоцене у Нила был своеобразный двойник. Параллельно ему – западнее, на территории современной Ливийской пустыни – текла аналогичная река, оставившая в Средиземном море такую же крупную подводную дельту [43]. В современном рельефе вся долина этой реки не выражена, но сохранились отдельные, не совсем ясные ее фрагменты. Судя по обилию пресных вод, вскрытых и эксплуатируемых многочисленными скважинами в ее низовьях, она, по-видимому, сегодня течет в виде крупной подземной реки [47]. Это настолько яркое, хотя и редкое геоморфологическое явление, что оно заслуживает предварительного включения в качестве самостоятельного закона.

Заключение

Из приведенного выше материала могут быть сделаны следующие выводы.

1. Следуя общепринятой традиции, отраженной в энциклопедических изданиях, можно разделить массив геоморфологических законов на всеобщие и частные. В качестве всеобщего закона геоморфологии признать только один в следующем виде: *рельеф Земли формируется в результате взаимодействия противоположно направленных эндогенных и экзогенных рельефообразующих процессов*. Это – первый главный геоморфологический закон Д.А. Тимофеева используется нами в системе законов аридной геоморфологии.

2. Частные геоморфологические законы значительно различаются в пределах двух крупных групп: аридных, преимущественно эоловых, и гумидных, главным образом флювиальных обстановок. *Общим частным геоморфологическим законом для них является закон формирования рельефа в результате деятельности литодинамических потоков*. В регионах аридного рельефообразования эти потоки связаны как с постоянной деятельностью ветра, так и с эпизодическими, но мощными водными потоками; на равнинах они имеют линейное и концентрическое развитие, характеризуются восходящей и нисходящей направленностью, не считаясь с уклонами местности. Потоки гумидного типа развиваются преимущественно в соответствии с морфоструктурными условиями, имеют водный генезис и отличаются нисходящим развитием.

3. Законы аридной геоморфологии многочисленны и многообразны. Выше были перечислены законы этого типа, сформулированные Й. Вальтером, В.М. Дэвисом, З. Пассарге, Б.А. Федоровичем, Б.Л. Личковым, Н.И. Маккаевым и Д.А. Тимофеевым. Основываясь на них и используя результаты собственных геоморфологических исследований, я предложил серию из двенадцати законов аридной геоморфологии. Они большей частью дополняют друг друга. Думаю, что удалось сформулировать не все законы, но это дело будущего. По-видимому, к их числу может быть отнесен и закон о катастрофическом проявлении эолового процесса в зоне прибрежных песков в результате естественных и антропогенных причин [28, 29], а также – о формировании антропогенных песчаных пустынь в гумидных регионах, испытавших покровное оледенение (районы типа Блендовской пустыни в юго-восточной Польше) [48].

Представленную на суд читателя работу я начал с рассмотрения законов природы, сформулированных М.В. Ломоносовым, М. Монтенем и А.А. Григорьевым с целью показать их вклад в решение этой проблемы и самому войти в ее содержание. Я использовал их труды при составлении работы, они создали необходимый научный фон и основу для размышлений о ее структуре и содержании. Мне также помогли известные данные моих коллег и друзей, изучавших проблемы, связанные геоморфологическими законами [49]. Остается отметить, что я преисполнен чувством благодарности всем ученым, упоминавшимся выше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ломоносов М.В. О слоях земных (1773). М.–Л.: Госгеолтехиздат, 1949. 212 с.
2. Ломоносов М.В. Слово о явлениях воздушных, от электрической силы происходящих. СПб.: Имп. Акад. Наук, 1753. 50 с.
3. Монтень М. Опыты. М.: ЗАО “ОЛМА-групп”, 2011. 304 с.
4. Личков Б.Л. Основные законы развития рельефа земного шара // Труды II Съезда ВГО. М.: Изд. АН СССР, 1948. Т. 2. С. 56–72.
5. Энгельс Ф. Диалектика природы. М.: Госполитиздат, 1969. 298 с.
6. Григорьев А.А. Закономерности в развитии природной среды. 1981. М.: Наука, 261 с.
7. Философский словарь. Издание 3-е. М.: Политиздат, 1972. 402 с.
8. Тимофеев Д.А. О некоторых геоморфологических законах // Геоморфология. 1972. № 2. С. 3–12.
9. Уфимцев Г.Ф. Очерки теоретической геоморфологии. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1994. 123 с.
10. Чичагов В.П. Эоловый рельеф Восточной Монголии. М.: ИГ РАН, 1999. 269 с.
11. Вальтер Й. Законы образования пустынь в прошлом и настоящем. СПб.: 1911. 189 с.
12. Rihthofen F. China. Bd. I. Berlin. 1877. S. 591.
13. Дэвис В.М. Географический цикл в аридном климате / Геоморфологические очерки. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1962. С. 38–56.
14. Дэвис В.М. Каменные поверхности в аридном и гумидном климатах / Геоморфологические очерки. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1962. С. 420–454.
15. Наливкин Д.В. Ураганы, бури и смерчи. Географические особенности и геологическая деятельность. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1969. 489 с.
16. Passarge S. Rumpflache und Inselberg // Zeitschrift der Deut. Gesellschaft. 1904. Vol. LVI. S. 194.
17. Федорович Б.А. Динамика и закономерности рельефообразования пустынь. М.: Наука, 1983. 236 с.
18. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 348 с.
19. Ларионов Г.А. Эрозия и деформация почв. М.: Изд-во МГУ, 1993. 134 с.
20. Маккавеев Н.И., Сахарова Е.И., Чалов Р.С. Современные эоловые процессы в долине верхней Оби // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1966. № 2. С. 33–42.
21. Аполлов Б.А. Гидрологические информации и прогнозы. М.–Свердловск: Гидрометеоздат, 1945. 500 с.
22. Борсук О.А., Горнак А.А., Кирик О.И., Чалов Р.С. Эоловые процессы в долине р. Лены // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1975. № 2. С. 151–152.
23. Борсук О.А. Эоловые процессы в долинах крупных рек бассейна Лены // Проблемы формирования рельефа Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1987. С. 88–91.
24. Боровский В.И. Соли уходят в Космос // Наука и жизнь. 1960. № 1. С. 70.
25. Герасимов И.П. Черты сходства и различия в природе пустынь // Природа. 1954. № 2. С. 11–22.
26. Панкова Е.И., Лебедева М.П. Черты сходства и различия свойств почв бореальных пустынь Центральной и Средней Азии // Бюл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 81. С. 120–137.
27. Белобров В.П. Климатические особенности пустынного почвообразования в Северной Ливии // Бюл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 81. С. 138–159.
28. Соколов Н.А. О дюнах, их образовании, развитии и внутреннем строении // Труды СПб. о-ва естествоиспытателей. 1885. Т. 16. 286 с.
29. Выхованец Г.В. Эоловый процесс на морском берегу. Одесса: Астропринт, 2003. 367 с.
30. Цеплихаль А. Введение в горное познание Земного шара. Ч. 1. Подземная география. СПб.: Горное училище, 1780. 352 с.
31. Калесник С.В. Основы общего землеведения. М.–Л.: Учпедгиз. 1947. 483 с.
32. Обручев В.А. О двух районах необычайно сильных бурь в Центральной Азии // Зап. Томск. гос. ун-та. 1899. № 7. С. 36–49.
33. Майнгуэт М. Циркуляция песков в Сахаре по данным космических снимков и ее влияние на процессы опустынивания // Геоморфология и палеогеография / Мат-лы XXIII междунар. геогр. конгресса. Секция 1. М.: Ин-т географии АН СССР, 1976. С. 170–174.
34. A Study of Global Sand Seas. Geol. Survey Prof. Paper. № 1052. Washington United States Govern. Office. 1979. 429 p.
35. Чичагов В.П. Происхождение эолового массива Чандмань-Элс на северо-западе Восточной Монголии // География и природные ресурсы. 1991. № 4. С. 136–144.

36. Чичагов В.П. Деструктивный рельеф Гобийского пенеппена в Восточной Монголии // Геоморфология. 1994. № 4. С. 96–110.
37. Чичагов В.П. Устойчивость и изменчивость семиаридных эоловых систем / Развитие рельефа и его устойчивость. М.: Наука, 1993. С. 93–125.
38. Чичагов В.П. Ураган 1980 года в Восточной Монголии и особенности эолового рельефообразования в Центральной и Восточной Азии. М.: Ин-т географии РАН, 1998. 204 с.
39. Чичагов В.П. Аридное поднятие Ксур в Северной Африке: эрозионная и дефляционная морфоскульптура, климатическое и антропогенное опустынивание // Геоморфология. 2006. № 4. С. 86–96.
40. Чичагов В.П. Маундеровский минимум в эволюции природной среды аридных территорий на примере Восточной Монголии // ДАН. 1997. Т. 356. № 3. С. 1–3.
41. Swesey C.K. Eolian sediment responses to Late Quaternary climate change // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2001. Vol. 22. P. 119–155.
42. Чичагов В.П. Морфоструктура полигенетических равнин: разломная тектоника (на примере Синайской пустыни) // Геоморфология. 2010. № 1. С. 61–72.
43. Чичагов В.П. Аридная геоморфология платформенных антропогенных равнин. М.: Науч. мир, 2010. 520 с.
44. Чичагов В.П. Аридные равнины северо-запада Африки. М.: Ин-т географии РАН, 2008. 171 с.
45. Чичагов В.П. Антропогенные вадии // Антропогенная геоморфология: наука и практика // Мат-лы XXXII Пленума Геоморфологической Комиссии РАН. Белгород: ИД “Белгород”, 2012. С. 374–380.
46. Said R. Geology of Egypt. Amsterdam: Elsevier, 1965. 378 p.
47. Чичагов В.П. Дельты крупных экстрааридных рек и формируемые ими равнины / Создание искусственных пляжей, островов и других сооружений в береговой зоне моря, озер и водохранилищ. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. С. 262–268.
48. Szczypek T., Wika S., Czylok A., Rahmonov O., and Wach J. Pustynia Bledowska fenomen polskiego krajobrazu. Krakow: KUBJAK, 2001. 72 p.
49. Теоретические проблемы геоморфологии. М.: Наука, 1988. 256 с.

Поступила в редакцию 06.12.2015

CONCERNING THE LAWS OF ARID GEOMORPHOLOGY

V.P. CHICHAGOV

*Institute of Geography RAS, Moscow, Russia
e-mail: chichagov@mail.ru*

The first universal geomorphologic law of D.A. Timofeev could be considered as a general law of geomorphology: *earth relief is formed due to the interaction of oppositely directed endogenous and exogenous relief-forming processes*. Private geomorphologic laws differ widely within the arid, primary eolian, and humid, mainly fluvial environments. General private geomorphologic law for them – *the law of relief formation due to lithodynamic flows function*. These flows are associated with both – the continuous activity of the wind, and with occasional, but powerful water currents in the arid relief-forming regions; on the plains they are present linear and concentric development, characterized by upstream and downstream trend, regardless of surface slopes. Streams of humid type are mainly developed in accordance with morphostructural terms; they have water genesis and differ by upstream development trend. The author extracts 12 laws of arid geomorphology: 1) the law of universality: wind activity appears almost everywhere on Earth and on other planets; 2) the law of eolian processes reflection in the sandy terrain pattern in large arid plain areas; 3) the eolian process action as if regardless of Earth's attraction; 4) the law of three components of eolian process: the destruction of the original rocks and sediments, their transport and deposition; 5) the law of deflation and accumulation interaction in eolian process operation and eolian morphogenetic systems creation; 6) the law of two types of mass transfer – areal and stream oriented with the prevalence of the latter; 7) the law of a wide range of the transported debris dimension; 8) the law of pulsating character of eolian processes; 9) the law of the largest sand deserts confinedness to the low angle depressions of the initial terrain; 10) the law of the joint action of eolian and fluvial processes during eolian relief forming; 11) the law of erosion forms development in arid and extra arid regions; 12) the law of functioning of large rivers in the arid zones.

Keywords: the laws of arid geomorphology, eolian relief, eolation, deflation, corrasion.

doi:10.15356/0435-4281-2016-2-3-17