

S u m m a r y

Geomorphological approach is shown to be useful in solving geocological problems. A correlation between the topography and pollution dispersal is found in a case study of a worked-out mine in Central Kazakhstan.

УДК 551.4.01

© 1996 г. Н.В. КУЦЕНКО

**ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА
ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ**

Рекультивация земель проходит технический и биологический этапы. Технический этап включает изъятие верхнего слоя почвы, укладку вскрышных пород, формирование рельефа и нанесение гумусированного слоя. Основное внимание уделяется биологическому этапу рекультивации, который связан с восстановлением почвенного плодородия и подбором растений, дающих максимальный экологический и экономический эффекты. При формировании рельефа учитываются экономическая эффективность земляных работ, механическая устойчивость откосов, общие требования по выравниванию поверхности и главной ее стыковке с ненарушенным рельефом [1]. При сельскохозяйственном освоении территории ее поверхности рекомендуется придавать небольшой уклон.

На нарушенных территориях не в полной мере учитываются закономерности проявления современных геоморфологических процессов. Техногенный рельеф изучается в основном в связи с разработкой классификаций и легенд для геоморфологических карт [2, 3]. Такая информация недостаточна для обоснования конкретных проектов техногенного рельефа.

Многолетние наблюдения показали, что формируемый согласно указанным выше требованиям рельеф не позволяет оптимально использовать рекультивированные земли, в основном, из-за эрозионно-аккумулятивных и просадочных процессов. За один сезон интенсивного снеготаяния на откосах отвалов вскрышных пород нередко образуются овраги длиной до 200 м и глубиной более 5 м. Продукты смыва и дефляции засоряют и загрязняют земли и воды ненарушенных прилегающих территорий. Общая экологическая ситуация обостряется тем, что породы отвальной смеси нередко содержат ядовитые соединения, или такие соединения формируются в новой для них геохимической обстановке под действием воздуха, воды и органических кислот, выделяемых живыми организмами. Борьба с последствиями эрозионно-аккумулятивных процессов, а не с их причинами мало эффективна, а порой наносит вред. Например, промоины и овраги на откосах отвалов, как правило, стремятся засыпать с помощью бульдозеров за счет материала, слагающего площадки искусственных террас. В таких местах не уменьшается, а увеличивается вероятность появления новых оврагов, поскольку здесь площадки террас будут концентрировать поверхностный сток. Такую картину автор наблюдал на внешних отвалах Морозовского углеразреза Кировоградской области. Выравнивание просадок и всей поверхности техногенной формы не обеспечивает оптимальный водный баланс и не исключает концентрированный сток поверхностных вод на откосы.

Вышесказанное убеждает в том, что проблема формирования рельефа для рекультивации земель является, прежде всего научной, а не технической. Техническому

этапу рекультивации должен предшествовать этап геоморфологических исследований. Главной его задачей должно быть научно обоснованное проектирование рельефа, обеспечивающего экологически благоприятный режим поверхностного стока. Теоретической основой может служить разрабатываемая нами концепция пространственного управления поверхностным стоком, которая базируется на следующих положениях. 1) Поверхностный сток – необходимая естественная составляющая водного баланса любой территории. Он характеризуется большой изменчивостью во времени и в пространстве. Пространственная дифференциация стока выражается в формировании флювиального рельефа в виде упорядоченных сетей. 2) Эрозионно-аккумулятивные процессы в результате саморегулирования через уклоны флювиальной сети стремятся к взаимопогашению. 3) Чем сложнее сеть – тем эффективней саморегулирование и меньше вероятность возникновения новых эрозионных форм. 4) Главная закономерность развития флювиального рельефа состоит в стремлении уменьшить энергию потока до "неразмывающих значений". В тальвегах это достигается за счет уменьшения уклонов, а на водораздельных участках – благодаря пространственному рассредоточению поверхностного стока. На основании этих положений мы разработали метод проектирования техногенного рельефа, позволяющий обеспечивать его максимально возможную устойчивость в данных геоморфологических условиях, увеличивать эффективность использования восстанавливаемых земель и сводить к минимуму вредное экологическое воздействие на прилегающую территорию. Задача конструирования рельефа для определенных хозяйственных и экологических целей сложна и требует индивидуального решения в каждом конкретном случае. Сформулируем общие принципы проектирования рельефа внешних отвалов вскрышных пород с геоморфологических позиций.

Обоснование структуры проектируемого рельефа

Серьезным недостатком современной теории и практики технической рекультивации земель является то, что конструируемый рельеф не обеспечивает эрозионно-безопасный сток поверхностных вод. Такой бесструктурный рельеф поверхности отвалов, как правило, представляет собой выровненную до определенных уклонов поверхность. На откосах отвалов нередко конструируются террасы и высаживается древесная растительность.

Под структурой флювиального рельефа, организованного в геоморфологические системы, автор понимает его строение и совокупность системообразующих отношений. Строение – морфологическая, а системообразующие отношения – функцио-

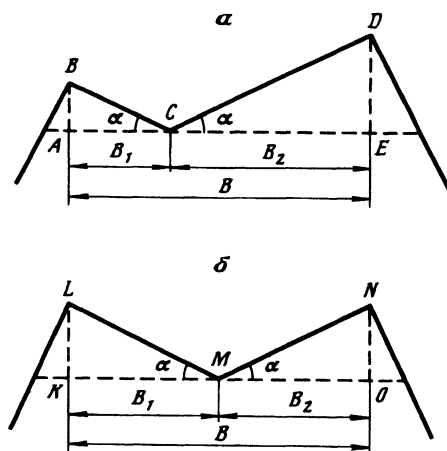


Рис. 1. Обоснование оптимального положения главного тальвега проектируемого отвала (поперечные профили)

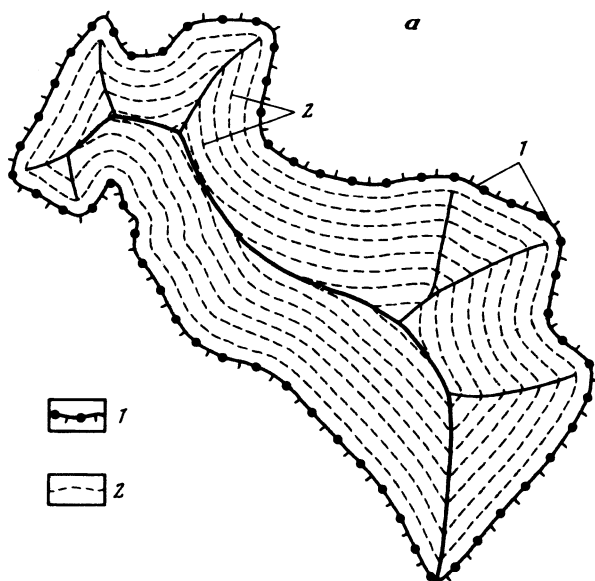


Рис. 2 (а)

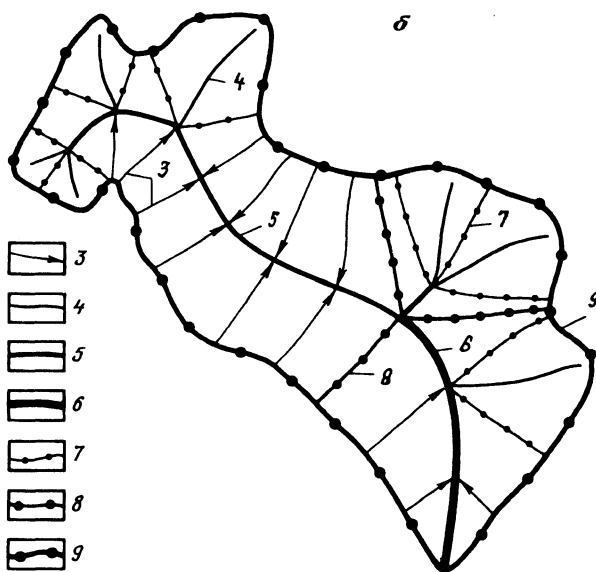


Рис. 2 (б)

нальная составляющая структуры. Строение в данном случае понимается как упорядоченная система поверхностного стока в пространстве, представленная сетью линий стока, тальвегов и водораздельных линий различного порядка [4].

Рельеф внешних отвалов вскрышных пород целесообразно проектировать как динамически равновесные флювиальные геоморфологические системы (ФГС) изолированного типа. Попытки плавной стыковки проектируемого рельефа с естественным могут принести большой экологический ущерб. Конструирование рельефа проводится спустя несколько лет после начала земляных работ по формированию отвалов. За это время на нарушенных землях может происходить вынос продуктов эрозии, дефляции и

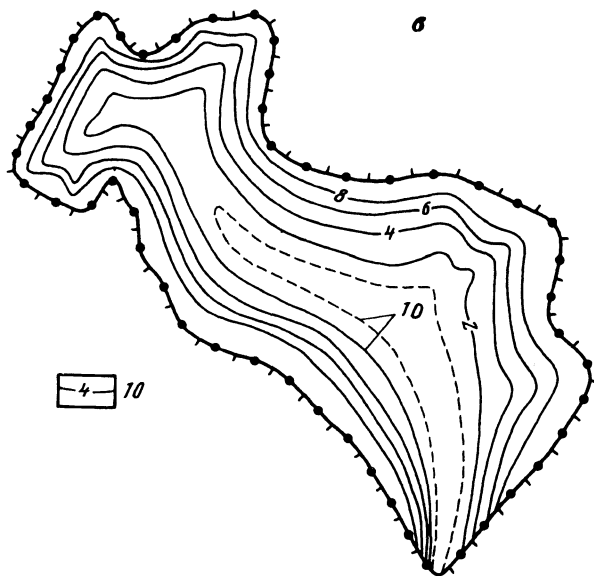


Рис. 2. Этапы проектирования рельефа

а – проектирование оптимального положения изодлин и тальвегов; *б* – структура техногенного рельефа; *в* – проект техногенного рельефа. 1 – контур отвала, 2 – изодлины, 3 – линии стока, 4–6 – тальвеги различных порядков, 7–9 – водораздельные линии различных порядков, 10 – горизонталь относительно местного базиса эрозии

вредных растворенных веществ на прилегающие территории, в реки и водоемы. Для уменьшения вредного воздействия технологии отгрузки вскрышных пород следует организовать таким образом, чтобы сток попадал внутрь отвалов, т.е. периферию отвалов с самого начала необходимо формировать как водораздельный участок. Интенсивные эрозионно-аккумулятивные процессы в таком случае будут локализовываться внутри отвалов и способствовать быстрому уплотнению пород. Это ускорит стабилизацию техногенного рельефа.

Структуру рельефа, конструируемого на заключительной стадии земляных работ, мы рекомендуем проектировать следующим образом. По контуру отвалов необходимо провести линию главного водораздела между техногенным и естественным рельефом. В центральной части отвала на одинаковом расстоянии от противоположных сторон водораздельной линии необходимо спроектировать линию главного тальвега. Такое положение тальвега позволит наиболее эффективно отводить сток от верхней бровки эрозионноопасных откосов и обеспечит минимальные затраты энергии на конструирование рельефа. Докажем это на упрощенном примере. На рис. 1 показаны поперечные профили проектируемого рельефа в направлении перпендикулярном тальвегу. Пусть в случае "а" $B_1 = B/3$; $B_2 = 2B/3$; в случае "б" $B_1 = B_2 = B/2$. Сумма площадей треугольников ABC и CDE равна: $S_1 = 5B^2 \text{tg} \alpha / 9$. Сумма площадей треугольников KLM и MNO равна:

$$S_2 = B^2 \text{tg} \alpha / 2.$$

Как видим, $S_1 > S_2$:

$$\Delta S = S_1 - S_2 = B^2 \text{tg} \alpha / 18.$$

Заметим, что чем больше различие между B_1 и B_2 – тем больше ΔS . Так, если $B_1 = B/4$, то $\Delta S = B^2 \text{tg} \alpha / 8$.

Значит, в случае "б" объем земляных работ по сооружению верхней части техногенного рельефа будет минимальным. Для упрощения рассуждений в нашем примере

принято, что $\alpha = \text{const}$. В действительности, как будет показано ниже, угол α должен увеличиваться с уменьшением расстояния до водораздельной линии. При этом объем земляных работ для случая "а" возрастает еще больше по сравнению со случаем "б".

Наиболее точно сеть тальвегов можно спроектировать с помощью изолиний удаленности от водораздельной линии (изодлин). Если водораздельная линия имеет извилистый характер, то последовательно соединяя точки в наиболее вогнутых в сторону границы отвала изодлинах, мы получим сеть тальвегов (рис. 2, а), а соединяя выпуклые точки перегибов изодлин, – водораздельные линии низших порядков. Такую сеть необходимо дополнить линиями стока, которые проводятся в створах тальвегов перпендикулярно изодлинам (рис. 2,б). В таком случае поверхностный сток будет отводиться от откосов к главному тальвегу по кратчайшим расстояниям. Центральное положение сети тальвегов обеспечит минимальную вероятность проявления эрозии при прочих равных условиях. Это следует из известного в гидрологии закона нелинейности связей [5]. Вероятность проявления эрозии прямо пропорциональна транспортирующей способности потока, которая в конечном итоге является нелинейной функцией от длины склона [5–7]. Для определенности примем: $S_{\text{тр}} \sim V^4$, $V \sim l^{0.5}$ [6, 7], где $S_{\text{тр}}$ – транспортирующая способность потока, V – его скорость, l – длина склона, $\sim$ – знак пропорциональности. В таком случае вероятность эрозии пропорциональна l^2 . Рассмотрим вероятность проявления эрозии на любой из 2-х линий стока, замыкающих произвольный i -й створ тальвега. Пусть суммарная длина этих 2-х линий равна 400 м. При центральном положении тальвега $l_{i(1)} = l_{i(2)} = 200$ м. Поскольку линии стока с точки зрения теории вероятностей независимы, то искомая вероятность будет равна сумме вероятностей проявления эрозии на каждой из них:

$$P_i = P_{i(1)} + P_{i(2)}.$$

Отсюда

$$P_i \sim 80000.$$

Рассмотрим случай, когда тальвег не занимает центрального положения и $l_{i(1)} = 100$ м, $l_{i(2)} = 300$ м:

$$P_i \sim 100000.$$

Следовательно, во 2-м случае вероятность эрозии больше. Легко проверить, что в любом случае, когда $l_{i(1)} \neq l_{i(2)}$, вероятность эрозии больше, чем при $l_{i(1)} = l_{i(2)}$.

Спроектированная указанным способом структура рельефа обеспечит также минимальное время добега потока воды до базиса эрозии. Это сводит к минимуму инфильтрацию и суффозию.

Укладка вскрышных пород в балках и оврагах, на первый взгляд, кажется эффективной: с одной стороны, экономятся угодья, имеющие высокий бонитет, с другой – формируется менее эрозионноопасный рельеф без крутых откосов. Это действительно так, если объемы вскрышных пород незначительны и для их укладки используются овраги с небольшими площадями водосборов. При использовании для таких целей больших балок, имеющих сложную сеть притоков и большую площадь водосбора, необходимо конструировать систему эрозионно-безопасного отвода поверхностного стока. При этом далеко не всегда возможна и целесообразна плавная стыковка техногенного рельефа с естественным. Дело в том, что резкое увеличение площади водосбора техногенного рельефа за счет его плавной стыковки с рельефом естественным увеличивает в данном случае риск ускоренной эрозии больше, чем крутые уклоны относительно коротких откосов, которые возникают при формировании техногенного рельефа как ФГС закрытого типа. Известны случаи образования оползней в балках, заполненных вскрышными породами. Один из таких оползней наблюдался весной 1969 г. в балке, расположенной в окрестностях с. Новоселовка Харьковской области. Вода, поступающая по притокам, насытила отвальную смесь из суглинков и

супесей. Образовался оползень, который нанес большой ущерб карьере по добыче кварцевого песка и реке Ольховатке. Подобные факты подтверждают необходимость конструирования техногенного рельефа как ФГС закрытого типа.

Известно, что чем сложнее структура ФГС; тем она устойчивее по отношению к эрозионно-аккумулятивным процессам. Поскольку техногенный рельеф конструируется из отвальной смеси со случайно изменяющимися в пространстве плотностью и составом, неизбежны неравномерные деформации поверхности отвалов во времени под действием силы тяжести и поверхностных вод. Никакие оценки и расчеты рельефа не дадут полной гарантии его устойчивости. Поэтому структуру техногенного рельефа необходимо совершенствовать со временем, последовательно ее усложняя, а не упрощая, как это часто делается в настоящее время.

Обоснование и расчет отметок проектируемого рельефа

Отметки проектируемого рельефа должны обеспечивать критические неразмывающие скорости водных потоков при самых неблагоприятных в эрозионном отношении условиях. Докажем, что такой рельеф будет оптимальным. Если неравномерное уплотнение пород происходит на выровненных отвалах, то это приводит к формированию холмисто-западинного рельефа, ухудшающего качество рекультивируемых земель. Если же просадки происходят на наклонной поверхности с критическими уклонами, то эрозионно-аккумулятивные процессы стремятся сгладить их, поскольку верхняя часть углубления приобретает уклон больше критического, а нижняя – меньше. Значит верхняя часть будет размываться, а в нижней будет происходить аккумуляция. Следовательно, естественным путем будут нивелироваться просадки и обеспечиваться дренаж земель. Промывной режим будет способствовать равномерному распределению питательных веществ после внесения удобрений, а также предотвратит засоление и загрязнение почв.

Вначале необходимо рассчитать отметки, обеспечивающие неразмывающие скорости потоков при плоскостном смыве без учета уклонов тальвегов. Известно более 100 формул, связывающих скорость потока с характеристиками склона и интенсивностью водоотдачи [8]. Большинство из них имеют вид:

$$V = n^{\gamma} R^{\beta} \sin^{\theta} \alpha,$$

где n – коэффициент шероховатости, R – для плоскостных потоков глубина, для русловых гидравлический радиус, α – угол наклона склона; γ, β, θ – параметры, которые имеют разные значения в разных формулах. Для надежности расчетов необходимо использовать наиболее эрозионноопасные значения таких параметров. Максимальные значения γ, β и θ приобретают в формулах Шеши и Манинга, которые выведены для установившихся потоков. Объединяя эти формулы с рациональной формулой, связывающей максимальный расход воды с площадью водосбора [9, 10], получим зависимость для расчета уклонов рельефа [11]:

$$\sin \alpha = \frac{V_n^{10/3} n^2}{(k_Q I)^{4/3} l^{4/3}}, \quad (1)$$

где α – угол наклона, обеспечивающий неразмывающую скорость V_n потока при ливне с интенсивностью I , коэффициенте стока k_Q , коэффициенте шероховатости n , на расстоянии l от линии водораздела. На основании того, что углы наклона проектируемого рельефа будут малыми, синус в формуле (1) можно заменить тангенсом и получить общую формулу для расчета отметок склонов проектируемого рельефа по линиям стока:

$$H_j = H_0 + \sum_{i=1}^j \frac{V_n^{10/3} n^2}{(k_Q I)^{4/3}} \cdot \frac{\Delta l_i}{l_i^{4/3}}, \quad (2)$$

где j – номер створа дискретной модели, H_0 – отметка местного базиса эрозии, Δl_i –

расстояние между створами, l_i – расстояние между створом и водораздельной линией. В первом приближении принимаем $H_0 = 0$.

На склонах выделяются пояса: капельно-дождевой, микроручейковой, струйчатой и овражной эрозии [12]. По формуле (2) целесообразно рассчитывать отметки проектируемого рельефа до пояса капельно-дождевой эрозии. Ширина этого пояса зависит от характера атмосферных осадков, использования земель и литологического состава пород. Ее необходимо определять в каждом конкретном случае путем полевых исследований. Капельно-дождевая эрозия приводит к выполаживанию рельефа сверху, формируя выпуклые части склонов. Это объясняется тем, что самые верхние водораздельные участки склонов не получают компенсации вынесенного эрозией разбрызгивания материала [13]. Они приобретают меньшие уклоны, чем участки, расположенные ниже. Следовательно, эрозия здесь уменьшается, но увеличивается односторонний вынос материала со смежных нижележащих участков, поскольку эрозия разбрызгивания уже не компенсируется поступлением наносов сверху. Формируется закономерный профиль рельефа с постепенным увеличением уклонов вниз по склону. Его можно рассчитать следующим образом. Пусть l_i – расстояние по линии стока от нижней границы пояса капельно-дождевой эрозии, L – ширина этого пояса. Зависимость уклона от l_i можно представить в виде:

$$\operatorname{tg} \alpha_i = al_i^c + \operatorname{tg} \alpha_0, \quad (3)$$

где α_i – угол наклона в точке i ; a, c – эмпирические коэффициенты, которые выводятся с помощью регрессионного анализа и зависят от конкретных условий рельефообразования: α_0 – угол наклона, рассчитанный по формуле (1) в самом верхнем створе расположенного гипсометрически ниже пояса микроручейковой эрозии при $l_i = 0$. Для расчета отметок разобьем L через одинаковые по горизонтальному проложению расстояния на m створов. Первый и последний створы совпадают с границами пояса. Вычислим расстояние между соседними створами:

$$\Delta L = L/(m - 1).$$

Формулу для расчета отметок получим в виде:

$$H_j = H_{\min} + \sum_{i=1}^j \{a[\Delta L(2i - 1) / 2]^c + \operatorname{tg} \alpha_0\} \Delta L, \quad (4)$$

где H_j – отметка на верхней границе отрезка ΔL дискретной модели, j – номер этого отрезка, $H_{\min}$ – отметка в 1-м створе, равная отметке последнего створа пояса микроручейковой эрозии, вычисленной по формуле (2). Остальные обозначения прежние.

Вывод коэффициентов a и c требует специальных исследований так же, как и обоснование шага ΔL дискретной модели, что выходит за пределы возможностей одной статьи.

После расчета отметок рельефа по формулам (2) и (4) рассчитываем уклоны, не допускающие ускоренной эрозии по тальвегам:

$$\sin \alpha = \left(\frac{V_n n}{R^{2/3}} \right)^2, \quad (5)$$

где R можно вычислить, построив для каждого из выделенных по тальвегу створов графики зависимостей гидравлических радиусов от поперечных сечений потоков. Поперечное сечение потока вычисляется по формуле:

$$S = \frac{k_0 FI}{V_n},$$

где F – площадь водосбора.

Рассчитав отметки по тальвегам, начиная от базиса и пересчитав отметки по линиям стока с учетом уклонов тальвегов, получим рельеф, который показан на рис. 2 "в".

Случайный характер просадок и неоднородный состав отвальной смеси оставляют определенную вероятность возникновения эрозионных форм несмотря на то, что фоновые значения уклонов не допускают размывающих скоростей потоков. Поэтому необходимо через 3–5 лет после конструирования техногенного рельефа проводить его мелиорацию. Для этого следует: а) провести детальную топографическую съемку рельефа с нанесением эрозионных и просадочных форм; б) уточнить проектную модель структуры рельефа путем нанесения этих форм; в) пересчитать уклоны и отметки, не допускающие размывающих скоростей для рельефа с изменившейся структурой; г) произвести перепланировку рельефа с учетом пересчитанных отметок.

Углы естественных откосов должны определять их профили по ряду причин. Откосы высотой 25–30 м остаются устойчивыми по отношению к эрозии даже при углах наклона близких к углам естественного откоса. Как показали наблюдения, проведенные в Кировоградской и Харьковской областях, эрозия на откосах проявляется только в тех случаях, когда на них попадает концентрированный поверхностный сток с отвалов [14]. Нецелесообразность планировки откосов кроме дополнительных потерь ненарушенных земель объясняется также тем, что согласно выражению (1) длина склона в большей мере влияет на эрозию, чем уклон. Длина здесь учитывается по горизонтальному проложению. Значит, увеличение горизонтального проложения, пропорциональное уменьшению уклона, увеличит риск эрозии.

Обоснование основных показателей в расчетных формулах

Ж.Д. Алибегова [15] подробно исследовала пространственно-временную структуру дождей. Согласно этим исследованиям, интенсивность наиболее эрозионноопасных ливней можно принять равной 2–3 мм/мин.

В первом приближении для отвальной смеси пород неразмывающую скорость потока V_n можно рассчитать по формуле, предложенной Ц.Е. Мирицхулавой [16]:

$$V_n = K_n Q^{0,2}.$$

Коэффициент K_n зависит от состава и размера частиц горных пород [16]. Значения V_n желательно уточнять в ходе полевых измерений, поскольку этот показатель особенно сильно влияет на уклоны проектируемого рельефа. Скорость ручья между его руслом и конусом выноса можно считать неразмывающей.

Коэффициент стока зависит от уклона и коэффициента фильтрации (табл. 1).

Коэффициент фильтрации для смеси отвальных пород необходимо определять в лабораторных условиях. Как видно из таблицы, характерные значения коэффициента стока для отвальных пород будут находиться в пределах 0,20–0,30.

Таблица 1

Значения коэффициента стока в зависимости от коэффициента фильтрации и уклона [по 17]

Коэффициент фильтрации, м/сут	Уклон водосборной площади		
	малый 0,01	средний 0,01–0,05	большой 0,05
2,0	0,10–0,20	0,15–0,25	0,20–0,30
1,0	0,15–0,25	0,20–0,30	0,25–0,40
0,5	0,20–0,30	0,25–0,45	0,35–0,60
0,1	0,25–0,40	0,30–0,60	0,50–0,75

Гидрологические характеристики ручьев для расчета n

Веществен- ный состав грунтов	№ створа	V , м/с	R , м	$\sin\alpha$	n	$\bar{n}$	σ
Лессовые породы и глина	1	0,03	0,010	0,014	0,18	0,28	0,06
	2	0,03	0,005	0,015	0,12		
	3	0,04	0,005	0,015	0,09		
	4	0,03	0,013	0,016	0,23		
	5	0,03	0,010	0,016	0,23		
	6	0,07	0,005	0,023	0,101		
	7	0,07	0,005	0,031	0,07		
	8	0,07	0,010	0,032	0,12		
	9	0,12	0,005	0,057	0,06		
	10	0,06	0,010	0,105	0,25		
	11	0,05	0,005	0,033	0,44		
	12	0,04	0,010	0,030	0,20		
	13	0,02	0,005	0,071	0,39		
	14	0,02	0,010	0,032	0,42		
	15	0,02	0,013	0,020	0,39		
Гумусиро- ванный слой	1	0,27	0,010	0,021	0,03	0,06	0,03
	2	0,34	0,010	0,018	0,02		
	3	0,16	0,010	0,046	0,06		
	4	0,21	0,15	0,024	0,05		
	5	0,32	0,010	0,038	0,03		
	6	0,31	0,010	0,027	0,03		
	7	0,19	0,015	0,028	0,05		
	8	0,23	0,015	0,027	0,04		
	9	0,19	0,018	0,015	0,04		
	10	0,11	0,015	0,031	0,10		
	11	0,11	0,020	0,036	0,13		
	12	0,13	0,015	0,013	0,05		
	13	0,11	0,015	0,049	0,12		
Лёссовые породы	1	0,10	0,013	0,031	0,10	0,04	0,03
	2	0,14	0,010	0,033	0,06		
	3	0,10	0,010	0,018	0,06		
	4	0,17	0,010	0,018	0,04		
	5	0,21	0,010	0,023	0,03		
	6	0,23	0,005	0,010	0,01		
	7	0,19	0,005	0,012	0,02		
	8	0,23	0,005	0,019	0,02		
	9	0,19	0,010	0,018	0,03		
	10	0,28	0,005	0,035	0,02		
	11	0,27	0,010	0,020	0,02		
	12	0,27	0,005	0,018	0,02		
	13	0,20	0,010	0,012	0,03		
Суглинки	1	0,14	0,015	0,022	0,06	0,03	0,01
	2	0,29	0,010	0,017	0,02		
	3	0,29	0,005	0,024	0,02		
	4	0,29	0,005	0,032	0,02		
	5	0,29	0,005	0,035	0,020		
	6	0,18	0,005	0,031	0,03		
	7	0,25	0,005	0,008	0,01		
	8	0,39	0,005	0,014	0,01		
	9	0,25	0,010	0,014	0,02		
	10	0,42	0,005	0,027	0,01		
	11	0,17	0,010	0,033	0,05		
	12	0,32	0,010	0,033	0,03		
	13	0,24	0,015	0,015	0,03		

V – скорость потока в ручье; R – его гидравлический радиус; α – угол наклона; n – коэффициент шероховатости; $\bar{n}$ – среднее значение коэффициента шероховатости; σ – среднее квадратическое отклонение

Значения коэффициента шероховатости n для нарушенных земель ранее не публиковались. С целью обоснования n автор совместно с В.Д. Сорокиным обследовал ручьи внешних отвалов Новоселовского ГОК Харьковской области. Измерения проводили на ручьях, протекающих по грунтам разного состава. 15 створов ручейковой сети было обследовано на участке, сложенном смесью лёссовых пород с тяжелым суглинком, и по 13 створов, соответственно, на участках, покрытых лёссовыми породами, суглинками и гумусированным слоем. Всего обследовано 54 створа. Объемным методом измеряли расходы воды, также измеряли поперечные сечения потоков. В результате были вычислены скорости потоков. С помощью теодолита измеряли продольные уклоны микрорусел. Это позволило вычислить значения n непосредственно по формуле Шези-Манинга (табл. 2).

В случае, когда породы отвалов токсичны и существует опасность загрязнения грунтовых вод, основной функцией проектируемого рельефа должен быть эрозионно-безопасный отвод поверхностных вод при минимуме их инфильтрации внутрь отвалов. И структура, и морфология такого рельефа будут не такими, как на рис. 2, хотя принципы их расчета остаются общими.

Выводы

Технический этап рекультивации земель требует в каждом конкретном случае глубокого геоморфологического обоснования, результатом которого должен быть проект оптимального техногенного рельефа, выполняющего определенные функции. Такой рельеф должен совершенствоваться через 3–5 лет после рекультивации. В основу расчетов техногенного рельефа для рекультивации внешних отвалов нетоксичных пород может быть положена предложенная в данной статье методика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панас Р.Н. Агроэкологические основы рекультивации земель. Львов: Изд-во Львовского ун-та, 1989. 158 с.
2. Зайцев Г.А. Геоморфологические проблемы рекультивации нарушенных земель // Рациональное природопользование и уход за ландшафтом в районах горных разработок: Науч. тр. по охране природы. Тарту: Изд-во Тартуского ун-та, 1989. С. 50–56.
3. Розанов Л.Л. Технологический фактор геотехноморфогенеза // Изв. РАН. Сер. геогр. 1992. № 4. С. 53–64.
4. Черванев И.Г., Куценко Н.В. Функционирование и динамика рельефа: моделирование по системе электроморфодинамических аналогий // Самоорганизация в развитии форм рельефа. М.: Наука, 1990. С. 110–153.
5. Эрозионные процессы. / Под ред. Маккавеева Н.И., Чалова Р.С. М.: Мысль, 1984. 256 с.
6. Швейс Г.И. Формирование водной эрозии стока наносов и их оценка. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 184 с.
7. Адесман А.Б. Учет турбулентных пульсаций скорости в расчетах транспортирующей способности русловых потоков // Тез. докл. Третьей Всесоюз. конф. "Динамика и термика рек, водохранилищ и окраинных морей". Т. 1. М.: Наука, 1989. С. 53–55.
8. Бастраков Г.В. Эрозионная устойчивость рельефа и противозерозионная защита земель. Брянск: Изд-во БГПИ, 1993. 260 с.
9. Кузнецов М.С., Глазунов Г.П., Григорьев В.Я. Методы изучения эрозионных процессов. М.: Изд-во МГУ, 1986. 104 с.
10. Гудзон Н. Охрана почвы и борьбы с эрозией. М.: Колос, 1974. 304 с.
11. Практикум по рациональному природопользованию. Киев: УМК ВО, 1991. 82 с.
12. Ермолаев О.П., Курбанова С.Г. Структура бассейновой эрозии в природно-антропогенных ландшафтах речных бассейнов // Геоморфология. 1992. № 4. С. 77–84.
13. Мирцхулава Ц.Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии. М.: Колос, 1970. 240 с.
14. Куценко Н.В., Сорокин В.Д. Проектирование динамически равновесного рельефа в целях противозерозионной мелиорации техногенных комплексов // Геоморфология. 1989. № 1. С. 40–45.

15. *Алибегова Ж.Д.* Пространственно-временная структура полей жидких осадков. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 229 с.
16. *Миццулава Ц.Е.* Основы физики и механики эрозии русел. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 303 с.
17. Строительные нормы и правила. Мелиоративные системы и сооружения. СНиП 2.06.03-85. М.: Изд-во Гос. ком. СССР по дел. стр-ва, 1985.

Харьковский госуниверситет
Геолого-географический факультет

Поступила в редакцию
10.06.94

GEOMORPHOLOGICAL BASIS FOR TOPOGRAPHIC DESIGN FOR THE PURPOSE OF LAND RECLAMATION

KUTSENKO N.V.

S u m m a r y

The paper gives geomorphological basis for modelling outer waste heaps with view to land reclamation. A technique of the design is developed and equations for calculation are given, principal parameters in the equations being explained.