

Summary

The proposed technique of longitudinal stream profile analysis is based on relation between morphometric characteristics of profile and watershed area. The main criterion of the estimation of stream profile is index of erosional dissection, its value being mainly controlled by stream discharge. The technique of stream profile analysis allows to define the significance of differentiated tectonic movements by the way of successive elimination of such important factors as lithology, water discharge etc.

УДК 551.435.162

КИСЕЛЕВА О. А., ЧЕРВЯКОВ В. А.

**ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ
С ПОМОЩЬЮ КАРТ ПОЛЕЙ ПЛОТНОСТИ**

«Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 гг.» предусматривают дальнейшее повышение плодородия почв, улучшение охраны их от водной и ветровой эрозии. Эти задачи на 10-ю пятилетку являются естественным продолжением предыдущих постановлений партии и правительства об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов, принятых в 1972—1973 гг.

Для успешного выполнения этих важных народнохозяйственных задач необходим строго научный подход к изучению эрозионных процессов, закономерностей их распространения и развития, основанный на точных измерениях и расчетах. Среди ряда методов здесь может быть широко и эффективно использован картографо-статистический метод исследования, сочетающий точность математико-статистических расчетов с наглядностью карты. Изучение пространственных закономерностей овражной эрозии на больших площадях чаще всего производится с помощью картограмм густоты и плотности оврагов (Косов, Константинова, 1972), получаемых в результате простейших статистических подсчетов. Но этот способ картографического изображения дает излишне обобщенную, а в некоторых случаях даже искаженную картину размещения оврагов, не отражающую наличия плавных переходов в распределении величин плотности и густоты оврагов¹. Более детально и достоверно показывается распределение оврагов на изолинейных картах полей плотности, составленных методом скользящего кружка (Червяков, Киселева, 1976б). Метрические свойства таких карт позволяют производить измерения плотности и густоты оврагов в любой точке местности и широко использовать математико-статистический аппарат для обработки массовой количественной информации этих карт. Статистические показатели, вычисленные по множеству контрольных точек в результате об-

¹ Под плотностью понимается количество оврагов, приходящихся на единицу площади ($овр/км^2$), а под густотой — суммарная протяженность оврагов на единицу площади ($км/км^2$).

работки информации разных карт полей, могут явиться основой для создания новых, производных карт полей. Так, обработка количественных данных карт полей овражной эрозии за разные сроки позволяет вычислить в каждой контрольной точке среднегодовые приросты плотности и густоты оврагов и построить карту динамики (тенденции) развития овражной сети. Сопоставление данных, полученных с карт полей разного содержания, дает возможность построить карты полей взаимосвязи овражной эрозии с факторами среды (Червяков, Киселева, 1976а). Все эти карты объединяет не только изолинейный способ картографического изображения, но и единый показатель — плотность оврагов.

Цель настоящей статьи — на конкретном примере показать возможность использования взаимоувязанной серии карт полей плотности оврагов для более глубокого изучения овражной эрозии в статике, динамике и взаимосвязях. В качестве объекта исследования был выбран ключевой участок на северной окраине Донецкого кряжа. Известно, что земельные ресурсы в горнопромышленном Донбассе значительно сокращены из-за широкого распространения щебнисто-каменистых почв, непригодных для земледелия и быстро приходящих в негодность из-за неурегулированного выпаса скота. Кроме того, район характеризуется чрезвычайным распространением древних и современных водно-эрозионных форм. Значительные площади заняты оврагами (Шикла, 1968). В этих условиях особенно большое значение приобретает проблема прекращения разрушительной деятельности эрозии. Эта проблема может решаться только на географической основе с учетом взаимосвязей эрозионных процессов со всеми природными и антропогенными факторами. В задачу географов входит выявление региональных особенностей природных и хозяйственных условий, определяющих различные предпосылки развития эрозии и борьбы с ней. Именно здесь имеются большие и во многом еще нераскрытые возможности использования картографо-статистического метода и, в частности, карт полей.

В основе предлагаемой серии карт лежит изолинейная карта поля плотности оврагов, показывающая обобщенную картину современного состояния овражной эрозии. Строится она в результате обработки методом взвешивающего скользящего кружка крупномасштабных карт или аэро- и спутниковых снимков, на которых отображен каждый овраг в отдельности. Для этого исходная карта покрывается густой сетью контрольных точек. Количество контрольных точек определяется визуально с учетом охвата скользящим кружком и места локализации оврагов, и места с разреженным распространением оврагов. Перекрытия скользящего кружка при этом не происходит. На контрольные точки последовательно накладывается скользящий кружок, выполненный на прозрачной основе. Радиус кружка зависит от степени детальности составляемой карты овражности. В рассматриваемом примере при исследованиях по карте 1:25 000 использовался кружок с радиусом 4 см. Для каждой контрольной точки во взвешивающем кружке подсчитываются величины плотности с учетом не только количества оврагов, но и их расстояния от центра кружка.

Изолинейная карта поля плотности современного состояния овражной эрозии, построенная на изучаемую территорию (рис. 1), дает четкое представление о пространственной приуроченности скоплений оврагов к определенным геоморфологическим выделам. Наибольшей плотностью оврагов отличаются склоны балок и крутые склоны речных долин. Водораздельные поверхности и поймы речных долин либо оконтурены нулевой изолинией, либо имеют низкие значения плотности. Таким образом, изолинии малых величин плотности выделяют плоские или слабонаклонные территории, где практически линейная эрозия не проявляется. Важное значение в распределении оврагов имеют тектонические и литологические особенности района. Мелкая складчатость и частое чередование

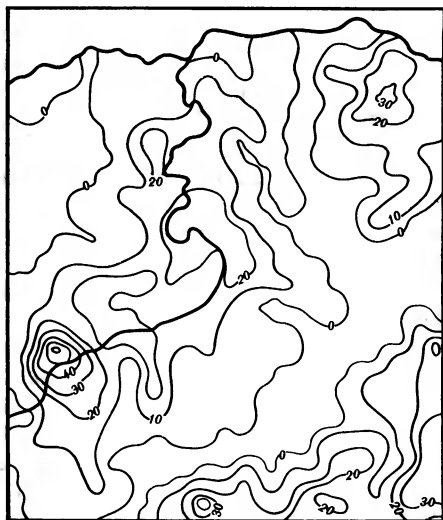


Рис. 1

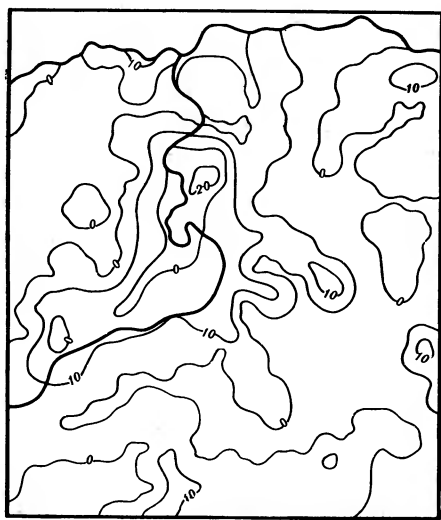


Рис. 2

Рис. 1. Поле плотности современного состояния овражной эрозии (на 1965 г.)

1 — изолинии плотности овражной сети, овра/км²

Рис. 2. Поле плотности прошлого состояния овражной эрозии (на 1917 г.)

1 — изолинии плотности овражной сети, овра/км²

пород, по-разному реагирующих на размывающее действие водных потоков, обуславливают приуроченность линейных эрозионных форм к выходам на поверхность пластов глинистого сланца. В зависимости от соотношения (совпадения или несовпадения) простирания пластов с направлением уклона склона определяется развитие эрозионных форм. Обычно они закладываются согласно простиранию пород, приобретая при этом асимметричный поперечный профиль. Приуроченность оврагов к нижним частям склонов объяснима скоплением здесь рыхлых отложений достаточно большой мощности. Экспозиция в этих условиях в меньшей степени влияет на распространение оврагов. Высокой плотностью оврагов отличаются участки речных долин и склоны балок, по простиранию совпадающих с направлением надвигов, оживлявшихся в неоген-четвертичное время (Киселева, 1975).

Карта поля плотности современного состояния овражной эрозии дает лишь «застывшую» статичную картину явления, которое фактически развивается во времени. Для выявления динамики овражной эрозии на исследуемой территории нами были дополнительно использованы картографические материалы полувековой давности², по которым тем же методом взвешивающего скользящего кружка была составлена карта поля плотности прошлого состояния овражной эрозии (рис. 2). Она отражает характер распространения оврагов на исследуемой территории практически в начале ее хозяйственного освоения. Очаги овражной эрозии на ней почти полностью совпадают с центрами современных ареалов распространения оврагов, но имеют значительно меньшие количественные показатели овражности и меньшие площади. Визуальное сравнение карт полей плотности прошлого и современного состояния овражной эро-

² Геологические планшеты м-ба 1 верста в дюйме, составленные Геолокомом в 1892—1917 гг. и изданные в 1920—1925 гг.

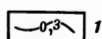
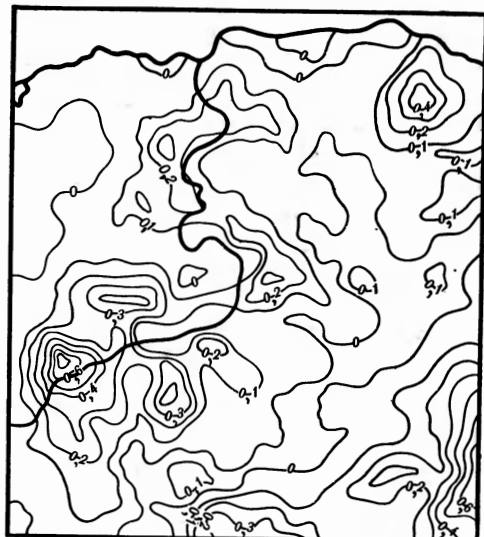


Рис. 3

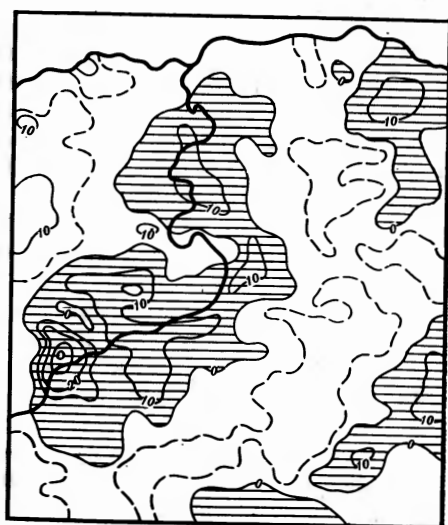


Рис. 4

Рис. 3. Поле динамики плотности оврагов

1 — изолинии динамики плотности оврагов, овр/км^2

Рис. 4. Карта зависимости плотности оврагов от крутизны склонов

1 — площади положительных отклонений от регрессии; 2 — изолинии отрицательных отклонений от регрессии

Рис. 5. Прогнозная карта поля плотности оврагов (на 1990 г.)

1 — изолинии плотности оврагов, овр/км^2

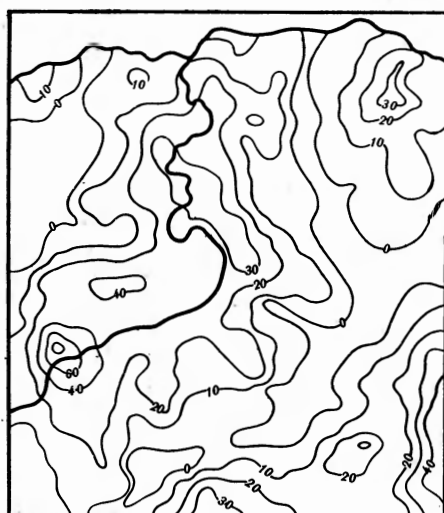


Рис. 5

зии позволяет проследить динамику процесса и выявить тенденции в развитии оврагообразования.

Новую объективную информацию об интенсивности развития овражной эрозии можно получить по карте поля динамики, которая строится в результате сравнения величин плотности на двух картах полей прошлого и настоящего состояния овражной эрозии, а точнее в результате нахождения в каждой контрольной точке разности плотности и деления ее на временной промежуток (число лет). Карта поля динамики показывает тенденцию развития овражной эрозии, выраженную через среднегодовые изменения (в основном прирост) плотности оврагов в тех же единицах, что и состояние плотности оврагов.

Визуальный анализ карты поля динамики плотности оврагов (рис. 3) позволяет выделить участки с различной интенсивностью овражной эрозии. Наибольшей интенсивностью характеризуются в основном те участ-

ки, которые обладают и наибольшей плотностью. Увеличение плотности оврагов интенсивнее происходило на склонах с большими уклонами. Менее динамичными в отношении оврагообразования оказались те склоны речных долин, которые хотя и характеризуются большой крутизной, но сложены с поверхности коренными породами. По-видимому, оврагообразование относительно сократилось вследствие того, что эрозионный потенциал здесь оказался исчерпанным, т. е. оврагообразование достигло своих природных пределов. На водоразделах и водораздельных склонах оврагообразование почти не проявлялось и даже происходило затухание овражной эрозии вследствие прекращения роста оврагов, зато на балочных и долинных склонах интенсивность достигает величин от 0,1 до 0,8 *овр/км²/год*. В большинстве случаев слабое проявление овражной эрозии или ее затухание характерны для межбалочных и междолинных водораздельных участков, где чехол покровных рыхлых отложений ничтожно мал или представлен щебнем песчаников. Нулевые значения интенсивности овражной эрозии в долинах рек можно объяснить в ряде случаев усилением аккумулятивных процессов, вызванных локальными современными опусканиями участков, а на водораздельных склонах — уменьшением поверхностного стока.

Изолинейный способ картографирования полей плотности оврагов удобен при сопоставлении этих карт с картами факторов, также имеющих непрерывный характер распространения. При этом можно широко и эффективно использовать корреляционный и регрессионный анализы. Первый заключается в вычислении тесноты связи (коэффициента корреляции) между современным состоянием овражной эрозии и факторами, на нее влияющими. Для этого с карт полей в одних и тех же контрольных точках (количество их в нашем случае равно 400) снимаются данные о коррелируемых признаках, которые подвергаются математико-статистической обработке (Мещеряков, Сетунская, 1960).

Проведенный корреляционный анализ показал, что влияние рельефа на развитие овражной эрозии завуалировано воздействием других факторов (литологическими свойствами вскрываемых эрозией пород, мощностью покровных отложений и др.). Так, например, связь плотности оврагов с длиной линий стока выразилась коэффициентом корреляции $R=0,08$ с глубинами местных базисов эрозии — $R=0,2$. Связь изменения плотности овражной сети во времени с длиной линий стока и глубинами местных базисов эрозии характеризуется аналогичными коэффициентами корреляции. Низкие величины коэффициентов корреляции указывают на очень слабые связи между коррелируемыми признаками. Только с крутизной склонов связь оказалась более тесной — $R=0,4—0,6$.

В математической статистике принято считать, что связь между коррелируемыми величинами является достаточно тесной, если $R>0,6$. Однако можно говорить о связи и при $R<0,6$, «если эту связь можно объяснить физическими причинами» (Уланова, 1964). Чтобы дать объяснение полученным статистическим закономерностям, необходимо показать некоторые литолого-тектонические особенности исследуемой территории. Рассматриваемый участок входит в зону мелкой складчатости и региональных разломов. Он сложен каменноугольными отложениями, представленными чередующимися твердыми (известняки, песчаники) и мягкими (глинистые сланцы) породами. Структурные и литологические особенности района создают своеобразный рельеф с чередованием грядово-гривисто-ложбинных водораздельных участков и глубоких долинно-балочных врезов. Пласты песчаника, выходя на дневную поверхность под углом 45—60°, образуют гривки, гребни на водоразделах, карнизы и микрокуэсты на речных и балочных склонах. Эти структурные образования еще более увеличивают уклоны. Продукты разрушения сланцевых пород, скапливаясь в межгрядовых ложбинах, на водоразделах, сносятся затем по склону и образуют шлей-

фы, в которых развиваются эрозионные процессы. Таким образом, мы считаем вполне закономерной приуроченность наибольшего развития овражной сети к склонам крутизной от 3° и более. В тех же местах, где крутизна склонов является благоприятной для возникновения оврагов, но фактическая плотность равна $0-5 \text{ овр/км}^2$ (т. е. оврагов практически нет), по-видимому, развитию овражной эрозии препятствуют другие факторы, в частности литология.

Статистическое сопоставление карт состояния овражной эрозии с картами факторов, влияющих на нее, позволяет найти параметры регрессионной зависимости, рассчитать в каждой контрольной точке величину отклонения действительной плотности от вычисленной по уравнению регрессии и построить производную карту отклонений от регрессии. Полученная изолинейная карта показывает, как изменяется теснота связи овражной эрозии с факторами (рельефом, осадками, распаханностью и т. д.) от места к месту.

Карта отклонений от регрессии (рис. 4) четко отражает это изменение тесноты связи плотности оврагов и крутизны склонов. Карта строилась следующим образом. По данным коррелируемых признаков, снятым в контрольных точках, вычислялись не только коэффициенты корреляции, но и уравнения регрессии. Далее в каждой контрольной точке вычислялась разность между действительными значениями плотности, снятыми с исходной карты поля плотности оврагов, и значениями, вычисленными по уравнениям регрессии. Большие величины отклонений свидетельствуют о наличии факторов, влияющих на овражную эрозию. Некоторые склоны крутизной более 3° имеют отрицательные значения отклонений от регрессии (от -5 до -10), что свидетельствует о значительном влиянии каких-то других факторов, препятствующих эрозионным процессам.

Сравнение карты отклонений от регрессии с литологической картой четвертичных отложений показывает, что участки с заниженными значениями плотности оврагов совпадают с распространением или защищенных почв, или участков голого щебня, лишенных почвенного покрова. Благоприятствующая развитию эрозии достаточная крутизна оказывается менее значительным фактором, чем фактор почвенно-литологический, играющий в данном конкретном случае противозэрозионную роль. Завышенные значения плотности оврагов (положительные величины отклонений от регрессии) получаются, очевидно, в результате благоприятного для эрозии сочетания условий рельефа, литологических свойств пород и др. В частности, именно к таким участкам относятся районы развития глинистых отложений, являющихся продуктами выветривания глинистых сланцев, обладающих слабыми противозэрозионными свойствами.

Одной из причин уменьшения интенсивности овражной эрозии (уменьшения количества оврагов) на склонах следует считать частичное урегулирование поверхностного стока. В ряде случаев уменьшение количества оврагов на склонах нужно отнести за счет природного фактора: большая часть поверхностного стока концентрируется в водоподводящих ложбинах, тяготеющих к верховьям или отвешкам балок. На склонах балок происходит относительное распыление стока, что не способствует возникновению склоновых оврагов. Основная масса стекающей воды сосредоточивается уже в верховьях балок, поэтому наибольшее развитие получают верховые и особенно донные овраги. Таким образом, древний эрозионный рельеф способствует раздроблению поверхностного стока, что ослабляет его эрозионную деятельность. Особенно ярко это проявляется в районах, где балочные системы хорошо развиты, ветвятся и располагаются на небольшом расстоянии друг от друга.

Важным заключительным этапом совместного использования карт полей плотности, отображающих овражную эрозию в статике, динамике

и взаимосвязях, является прогнозирование состояния овражной эрозии на будущее. Прогнозная карта поля плотности оврагов (рис. 5) составлялась по результатам экстраполяции данных, снятых с карты состояния овражной эрозии в настоящем и с карты динамики. Поскольку динамика овражной эрозии определялась за срок более 50 лет, нами был составлен прогноз на срок в 2 раза меньший — 25 лет. Такое соотношение времени между фиксированными на картах прошлым и настоящим состоянием овражной эрозии и временным интервалом прогнозирования обеспечивает надежность подобного рода механических прогнозов.

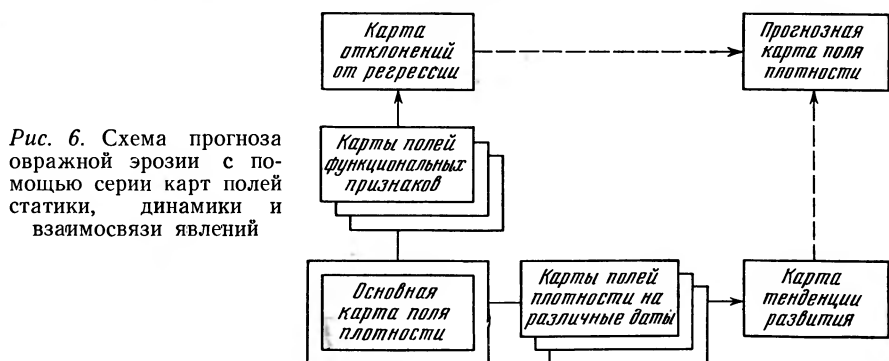


Рис. 6. Схема прогноза овражной эрозии с помощью серии карт полей статистики, динамики и взаимосвязи явлений

Анализ прогнозной карты показал, что овражность будет изменяться в основном в зависимости от литологических свойств покровных пород. На участках развития глинистых отложений при крутизне более 3° плотность оврагов увеличится в 3 раза. На склонах, где коренные плотные породы обнажены или прикрыты незначительной толщей глины со щебнем, овражная эрозия уменьшится или практически прекратится. Во многих случаях значительно сузятся нерасчлененные водораздельные полосы в среднем до 1 км, а местами овраги пересекут водоразделы и балочные системы сопредельных склонов речных долин окажутся сочлененными.

Географический прогноз такого рода может быть уточнен с помощью карт отклонений от регрессии, если будет известно состояние учитываемых факторов в будущем. Следует отметить, что прогноз овражной эрозии по предлагаемой схеме (рис. 6) носит вероятностный характер. Тем не менее изучение овражной эрозии с помощью предложенного метода дает возможность количественно оценить степень ее опасности, уточнить влияние различных факторов и выработать рациональные приемы борьбы с ней.

ЛИТЕРАТУРА

- Киселева О. А. Об отражении разломной тектоники в рельефе северной окраины Донецкого края. «Вестник МГУ. География», № 5, 1975.
 Косов Б. Ф., Константинова Г. С. О новом содержании карты овражности. В сб. «Эрозия почв и русловые процессы», вып. 2. М. Изд-во МГУ, 1972.
 Мецераков Ю. А., Сетунская Л. Е. Приемы количественной характеристики взаимосвязей явлений по картам с помощью коэффициента корреляции. «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», № 1, 1960.
 Уланова Е. С. Применение математической статистики в агрометеорологии для нахождения уравнений связей. М., Гидрометеиздат, 1964.
 Червяков В. А., Киселева О. А. О прогнозировании овражной эрозии с помощью карт полей плотности. «Геодезия и картография», № 8, 1976а.
 Червяков В. А., Киселева О. А. Опыт составления карты для изучения овражной эрозии. «Геодезия и картография», № 11, 1976б.
 Шикун Н. К. Борьба с эрозией и земледелие на склонах. Донецк, «Донбасс», 1968.