

современной техники для автоматизированного анализа изображений. Это ведет к возможности получения автоматизированным путем еще одного вида производных карт — морфометрических фотокарт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков Н. М. Принципы и методы картометрии. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1950, 327 с.
2. Кравченко Ю. А. Методы моделирования топографических поверхностей (обзорная информация). М.: ГУГК при СМ СССР, ЦНИИГАиК, 1984. 67 с.
3. Сербенюк С. Н., Тикунов В. С. Автоматизация в тематической картографии. М.: Изд-во МГУ, 1984. 108 с.
4. Мусин О. Р., Новаковский Б. А., Сербенюк С. Н. Фотограмметрические принципы сочетания дистанционного зондирования и трехмерного картографирования//Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1986. № 6. С. 56—64.
5. Лобанов А. Н., Журкин И. Г. Автоматизация фотограмметрических процессов. М.: Недра, 1980. 240 с.
6. Yoeli P. Digital terrain models and their cartographic and cartometric utilization//Cartogr. J. 1983, V. 20. № 1. P. 17—22.
7. Малявский Б. К., Жарновский А. А. Аналитическая обработка фотограмметрической информации в целях инженерных изысканий. М.: Недра, 1984. 220 с.
8. Ванглевский В. Х. О создании карт углов наклона местности//Геодезия и картография. 1983. № 12. С. 47—50.
9. Емельянов О. Г. Определение углов наклона дна по цифровой модели рельефа//Геодезия и картография. 1984. № 11. С. 37—40.
10. Крхо Й. Цифровая модель местности с точки зрения морфометрического анализа//Картография. Вып. 2. Использование карт в научных исследованиях в зарубежной картографии. М.: Прогресс, 1983. С. 92—108.
11. Коэ Л., Тикунов В. С., Торп Л. Алгоритмизация создания карт углов наклона//Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1981. № 2. С. 52—61.
12. Завьялов Ю. С., Леус В. А., Скороспелов В. А. Сплайны в инженерной геометрии. М.: Машиностроение, 1985. 224 с.
13. Бахвалов Н. С. Численные методы. М.: Наука, 1973. 632 с.

Московский государственный
университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
3.XI.1986

AUTOMATIC COMPILATION OF SLOPES ANGLES AND EXPOSURE MAPS USING AERIAL PHOTOS

MUSIN O. P., NOVAKOVSKY V. A., SERBENYUK S. N.

Summary

The authors discuss the theoretical bases and methods of the automatic compilation of slope angles and exposure maps using aerial photos. The mapping was carried out by the automatic cartographic system «AKS-MGU». The basic data are taken from digital photogrammetric models of topography. The algorithm is explained which had been used to approximate the basic digital data by cubic splines.

УДК 551.4.012

ПАСТУШКОВА С. А.

ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ РЕЛЬЕФА ЛЁССОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПО КАРТОГРАФИЧЕСКИМ И АЭРОКОСМИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛАМ (НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ)

Изучение рельефа и инженерно-геологическая оценка лёссовых пород с использованием картографических и аэрокосмических материалов позволяют судить о некоторых их свойствах без проведения специальных дорогостоящих работ. Дешифрирование и распознавание мезо- и микроформ рельефа на картах и снимках проведено на исследуемой террито-

рии последовательно, начиная со среднемасштабных топографических карт (1 : 100 000) и космических снимков (1 : 200 000) и кончая аэроснимками и топографическими картами масштабов 1 : 50 000, 1 : 25 000 и 1 : 10 000. В задачу исследования входило создание своеобразных каталогов с подробным описанием характерных рисунков изображений просадочных форм рельефа, присущих разным лёссовым комплексам, на картах и аэро- и космических снимках.

Эти исследования выполнялись в связи с разработкой методики инженерно-геологических изысканий на просадочных грунтах, а также при составлении мелко- и среднемасштабных карт по территориям распространения лёссовых пород.

В качестве ключевого участка выбрана территория с хорошо изученными просадочными лёссовыми отложениями, близкими к типичным лёссам. Это район с мощным покровом (до 100 м и более) лёссовых пород преимущественно эолового и эолово-делювиального генезиса. Просадочная толща в лёссах достигает 40—60 м. Лёссы представлены супесями и легкими суглинками зернистой структуры, влажность их изменяется в пределах 5—12%. Для этой толщи характерны просадочные блюдца глубиной до 2—2,5 м, повышенное содержание солей и непровывной тип влажностного режима [1].

В ходе исследований сделана попытка разработки и применения единого интегрального метода исследования, использующего приемы картографического анализа и совокупность правил и способов дешифрирования аэро- и космических снимков. В его основе лежит индикационный анализ снимков и карт, позволяющий выявить скрытую количественную и качественную информацию об изучаемых процессах и явлениях через морфологию и структуру других взаимосвязанных с ними явлений и процессов-индикаторов [2].

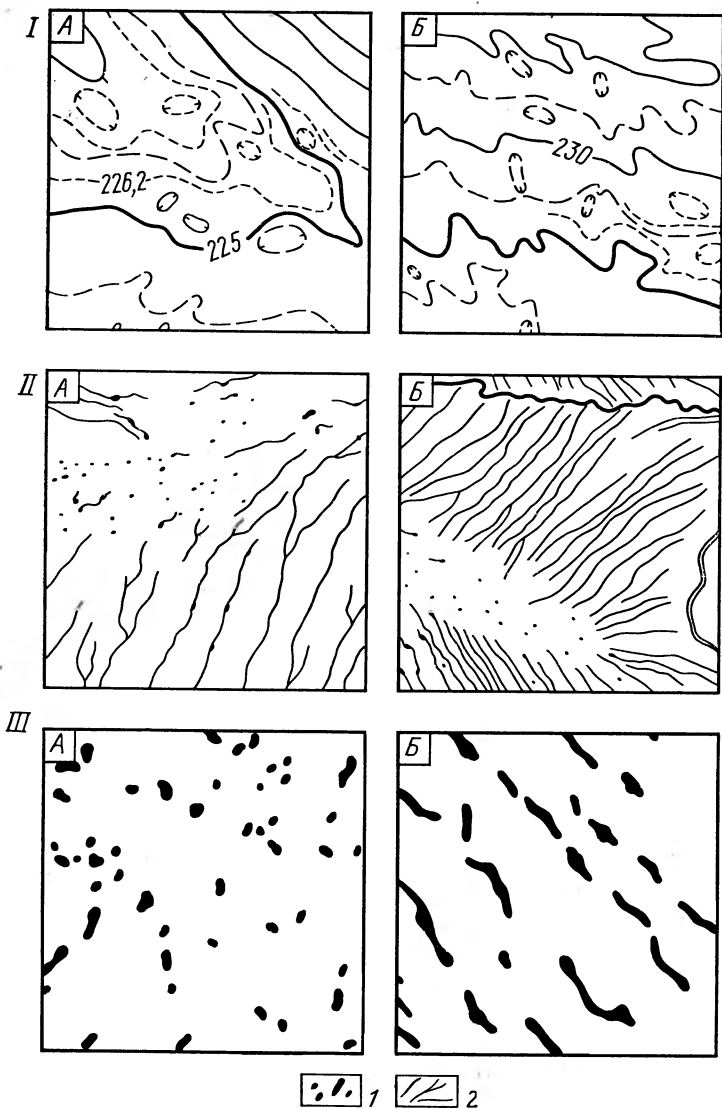
При изучении лёссовых пород первостепенное значение среди признаков-индикаторов приобретает конфигурация отображенных на картах и снимках форм рельефа. Таким образом, основным объектом изучения является рисунок — геометрические контуры изображенных на снимках и картах мезо- и микроформ рельефа, образованных в результате просадочных явлений в лёссах, плоскостной и линейной эрозии, т. е. наиболее характерных процессов, происходящих в лёссовой толще.

Изучение рельефа — основного индикатора эрозионных и просадочных процессов проводилось по топографическим картам масштабов 1 : 100 000, 1 : 50 000, 1 : 25 000 и 1 : 10 000. По ним удается не только дифференцировать территорию по интенсивности развития просадочных блюдцев и западин, но и составить прогноз просадочности лёссовых пород. Изучение и анализ распространения просадочных форм по геоморфологическим элементам, а также разнообразные картометрические и морфометрические исследования позволяют выделить районы с различной степенью просадочности лёссовых грунтов.

Графическое сложение и вычитание гипсометрической поверхности, изображенной с помощью горизонталей, вычисление базисной поверхности и остаточного рельефа позволяют определить суммарную мощность отложений, подсчитать объем снесенного и переотложенного материала.

Определение по топографическим картам формы и уклонов склона (вогнутый, выпуклый, пологонаклонный, крутонаклонный и т. п.) дает сведения о степени просадочности пород и их генезисе. Так, на вогнутом склоне протекают процессы делювиальной аккумуляции снесенного плоскостным смывом лёссового материала. Отсюда можно предположить, что на вогнутом склоне распространены преимущественно отложения делювиального генезиса, просадочность которых меньше, чем лёссов, приуроченных к пологой выпуклой верхней части склона и водораздельной поверхности.

Для районов развития лёссовых пород характерны плавные округлые очертания водоразделов, древовидно ветвящаяся овражно-балочная сеть, сильно меандрирующие, петляющие русла рек. Овраги глубокие, с крутыми почти вертикальными стенками и узкими днищами. Берега рек вы-



Образцы изображений эрозионно-просадочных форм рельефа в лёссах на топографических картах и аэроснимках
 I — фрагменты топографических карт масштаба 1 : 25 000 (А, Б);
 II — схемы дешифрирования эрозионно-просадочных форм по аэроснимкам масштаба 1 : 25 000 (А, Б); III — схемы дешифрирования эрозионно-просадочных форм на поверхности водораздела (А) и пологом склоне (Б) по аэроснимкам масштаба 1 : 10 000.
 1 — просадочные блюдца и западины, 2 — потяжины

сокие и обрывистые. Часто между высокой и низкой поймой прослеживается обрывистый уступ. Все эти особенности рельефа и гидрографической сети хорошо читаются по топографической карте и могут быть косвенными индикаторами рыхлого сложения и легкой размываемости лёссовых отложений.

Анализ разномасштабных топографических карт показал, что на картах масштабов 1 : 100 000 и 1 : 50 000 с сечением рельефа соответственно 20 и 10 м хорошо выражены только крупные формы рельефа. Лишь изредка можно встретить замкнутые горизонталы, изображающие просадочные блюдца и западины. Минимальные размеры просадочных западин, отображенных на картах этих масштабов, 100 м в диаметре. Большое сечение не позволяет выразить многие детали рельефа. На топографической карте масштаба 1 : 25 000 с сечением рельефа 5 м и дополни-

тельными горизонталями через 2,5 и 1,25 м показана часть мезоформ рельефа просадочного происхождения размером более 50 м в диаметре. Размеры изображенных на карте западин колеблются от 50 до 250 м.

Изучение гипсометрической поверхности показало, что просадочные формы располагаются ближе к осевой части водоразделов и на пологих склонах южной экспозиции. По наличию овальных замкнутых горизонталей на пологовыпуклых склонах южной экспозиции и отсутствию их на прямых и крутых склонах северной и северо-западной экспозиции можно сделать заключение о влиянии на просадочность отложений формы и ориентировки склонов. Так, на склонах южной экспозиции, куда поступает больше солнечной радиации и, значит, больше испарение и раньше сходит снежный покров, распространены лёссы с меньшей естественной влажностью, чем на склонах северной экспозиции. А чем меньше влажность пород, тем более высокой просадочностью они обладают, о чем и свидетельствует значительное количество просадочных блюдечек и западин на склонах южной экспозиции. Крупные западины приурочены, как правило, к лёссовым отложениям значительной мощности. Поэтому большое количество западин размером более 100—200 м косвенно указывает на мощную толщу лёссов.

Представляет интерес анализ характера извилистости горизонталей в местах скопления просадочных форм. Горизонталы образуют здесь резкие длинные излучины, огибающие пологие ложбины стока, тоже, вероятно, просадочного происхождения. Такие ложбины, являющиеся естественным продолжением просадочных блюдечек и западин, распространены на пологих склонах южной экспозиции и практически отсутствуют на крутых склонах северной экспозиции. На рисунке IА, Б приведены фрагменты топографической карты масштаба 1 : 25 000. Специфический рисунок горизонталей может служить индикатором для распознавания просадочных лёссовых пород.

Для инженерно-геологической оценки территории по просадочности наиболее приемлемы топографические карты масштаба 1 : 25 000 с сечением рельефа 5 м. Этот масштаб вполне достаточен для изучения равнинного рельефа Северного Кавказа. Равнинный характер поверхности позволяет кроме основных горизонталей проводить и дополнительные через 2,5 и 1,25 м, не перегружая карты. Карты более крупного масштаба (1 : 10 000 и крупнее) охватывают небольшие по площади территории, по информативности лишь незначительно превышая карты масштаба 1 : 25 000.

Изучение лёссовых пород по разномасштабным материалам аэрокосмической съемки позволяет получить более детальные характеристики. Основными прямыми дешифровочными признаками развития лёссов на снимках являются рисунок фотоизображения и фототон, а среди косвенных показателей — формы рельефа.

По результатам дешифрирования разномасштабных аэро- и космических снимков можно выделить районы распространения просадочных и непросадочных лёссовых пород, определить приблизительную их мощность. Так, мощная толща лёссов индицируется по следующим особенностям рельефа: плавным округлым очертаниям холмистых гряд, густой древовидно ветвящейся овражно-балочной сети, коротким и глубоким промоинам на бровках оврагов. На склонах водоразделов наблюдаются начальные формы эрозии (потяжины), имеющие на снимках форму извилистых темных полосочек. При интенсивном развитии потяжин склоны, сложенные лёссовыми породами, приобретают на аэро- и космических снимках полосчатое, а при образовании просадочных блюдечек и западин округлой формы — полосчато-оспенное изображение.

В местах, где мощность лёссов небольшая, на фотоизображение лёссовых отложений оказывают влияние состав, условия залегания и строение подстилающих пород, особенно в тех случаях, когда они вскрываются эрозионными врезами. Часто наблюдается явление «просвечивания» кровли подстилающих пород с ее неровностями, трещиноватостью и другими особенностями сквозь толщу лёссовых пород. Все эти особенности

изображения являются признаками небольшой мощности лёссовой толщи [3].

Наиболее удобными, по нашему мнению, снимками, позволяющими получить достаточную инженерно-геологическую информацию о лёссовых породах, являются аэроснимки масштаба 1 : 25 000. Они отличаются хорошей обзорностью, по ним четко прослеживается приуроченность просадочных и эрозионных форм к геоморфологическим элементам. Минимальный размер дешифрируемых микропонижений рельефа составляет 20 м в диаметре, в то время как средний диаметр просадочных блюдечек на изучаемой территории 25—30 м. На водоразделах распространены крупные просадочные формы диаметром 50—70 м, на пологих склонах — мелкие и многочисленные в 20—30 м. На узких и длинных водоразделах просадочные блюдца соединяются в цепочки. На широких и плоских водораздельных поверхностях они расположены редко и бессистемно. Пологовывуклые водоразделы и выпуклые склоны буквально усеяны просадочными блюдцами и западинами. Структура изображения — оспенная. Между западинами встречаются короткие извилистые потяжины длиной 100—200 м. Вниз по склону длина их увеличивается. Рисунок микроделлей склоновой денудации приобретает струйчатый характер. Среднее расстояние между западинами на выпуклых склонах 100—130 м, на водоразделах 50—60 м. На вогнутых склонах западины редки, здесь преобладает плоскостной смыв. На рисунке II, А, Б приведены схемы дешифрирования по аэроснимкам масштаба 1 : 25 000 характерных форм рельефа, развитых в типичных эоловых лёссах.

Следует отметить, что на аэроснимках масштаба 1 : 25 000 находят отражение лишь мелкие и средние формы размером до 100 м в поперечнике. Крупные же западины размером 150—250 м на аэроснимках не просматриваются и видны на аэровысотных и космических снимках, обладающих значительной оптической генерализацией. Оптическая генерализация, проявляющаяся с уменьшением масштаба снимков, позволила выявить дополнительную информацию, скрытую на крупномасштабных материалах за множеством подробностей фотоизображения.

При изучении лёссовых пород по картографическим и дистанционным материалам кроме визуального анализа использовались количественные приемы, применяемые в картографическом методе исследования (картометрические и морфометрические измерения). По результатам дешифрирования, перенесенным на картографические основы, проводились картометрические и морфометрические определения конфигурации, плотности просадочных и эрозионных форм, площадей распространения лёссовых пород. Такие исследования помогают оценить динамику и интенсивность просадочных и эрозионных процессов. Например, измерения длины эрозионных форм по материалам дешифрирования дали следующие результаты: суммарная длина протяжин на 1 км² составляет более 4 км, что свидетельствует о значительной плоскостной эрозии. Встречаемость или частота просадочных блюдечек и западин, определяемая как количество просадочных понижений, приходящихся на единицу площади, максимальна на поверхности водоразделов и составляет 30—50 ед. на 1 км². Определение частоты крупных просадочных блюдечек диаметром более 100 м может дать некоторую информацию о мощности лёссовой толщи. На изучаемой территории с мощными лёссами частота сверхкрупных просадочных форм в среднем составляет 0,5—1 ед. на 1 км².

Вычисленные количественные характеристики могут быть использованы и для первичного определения некоторых свойств лёссовых отложений. В частности, определение по схемам дешифрирования (рисунок III, А, Б) плотности просадочных форм рельефа, развитых в типичных лёссах с высокой просадочностью (до 12%), позволило установить, что на водоразделах и пологих склонах (до 1—2°) плотность просадочных понижений составляет 5—8%.

Совместный анализ карт и аэрокосмических снимков при инженерно-геологической оценке лёссовых отложений позволяет сформулировать следующие выводы и практические рекомендации.

1. Основным дешифровочным признаком лёссовых отложений является рельеф, образованный просадочными процессами, плоскостной и линейной эрозией. Характерные формы рельефа создают своеобразные рисунки изображений на картах и снимках, которые могут быть использованы для распознавания различных типов лёссовых пород.

2. Комплексное исследование с привлечением разнообразных материалов позволяет получить максимум информации. Так, с помощью топографических карт, изображающих рельеф способом горизонталей, можно осуществить количественную оценку изучаемых процессов и явлений, которую часто бывает технически сложно получить по снимкам. Материалы аэрокосмической съемки в свою очередь могут дать подробную качественную информацию.

3. Оптимальными материалами, позволяющими получить достаточную информацию о степени просадочности территории, являются карты и аэроснимки масштаба 1 : 25 000. Они обладают хорошей обзорностью, по ним четко прослеживается приуроченность просадочных форм к геоморфологическим элементам. Минимальный диаметр просадочных блюдеч, выражающихся на аэроснимке, 20 м, в то время как средний диаметр их на изучаемой территории 25—30 м.

4. Некоторые элементы, отражающиеся на картах и космических снимках, на крупномасштабных аэроснимках часто теряются за множеством деталей фотоизображения. Поэтому для получения полной и объективной информации целесообразно использовать серию разномасштабных картографических и дистанционных материалов.

5. Необходимы дальнейшие исследования по составлению каталогов с эталонными образцами изображений различных типов лёссовых пород на картах и снимках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коробкин В. И., Балаев Л. Г., Галай Б. Ф. Субазральный литогенез и свойства пылевато-глинистых отложений. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1985. 205 с.
2. Берлянт А. М. Интеграция картографического и аэрокосмического методов//Географическая картография. Взгляд в будущее. М.: Изд-во МГУ. 1985. С. 40—53.
3. Дешифрирование четвертичных отложений Русской равнины. М.; Л.: Наука, 1966. 263 с.

ПНИИИС Госстроя СССР

Поступила в редакцию
6.11.1987

AN EXPERIENCE IN LOESS AREAS TOPOGRAPHY STUDY USING CARTOGRAPHIC AND SPACE PHOTO MATERIALS (WITH SPECIAL REFERENCE TO THE EASTERN PART OF THE CAUCASIAN FORELAND)

PASTUSHKOVA S. A.

Summary

Maps and aerial and space photos of various scales when simultaneously analysed permit to evaluate some features of the loess topography and engineering characteristics of loess. Most reliable data on the loess areas subsidence properties can be obtained from maps and aerial photos on the scale of 1 : 25.000. The aerial photos permit to discern minor depressions 20 meters and more in diameter, the depressions' average diameter within the area being 25 to 30 meters.