

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
Институт естественных наук
Кафедра географии, картографии и геоинформатики

И. Е. Егоров

МЕТОДЫ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Учебно-методическое пособие



Ижевск
2021

УДК 911.2(07)
ББК 26.82.я7
Е302

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом УдГУ

Рецензент: к.г.н., доцент кафедры экологии и природопользования
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет» **О.В. Гагарина**

Егоров И.Е.

Е302 Методы физико-географических исследований: учебно-методическое
пособие / И.Е. Егоров. – Ижевск: Издательский центр «Удмуртский
университет», 2021. – 64 с.

Учебно-методическое пособие содержит комплекс заданий для
практических работ по основным разделам курса «Методы физико-
географических исследований» и методические указания по их
выполнению.

УДК 911.2(07)
ББК 26.82.я7

© И.Е. Егоров, 2021
© ФГБОУ ВО «Удмуртский
государственный университет», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. КАРТОМЕТРИЯ И МОРФОМЕТРИЯ	5
1.1. Характеристики протяжённости.....	6
1.2. Сложение и вычитание поверхностей.....	8
1.3. Определение площадей и объёмов.....	9
1.4. Характеристики ориентировки	14
1.5. Характеристики формы	18
1.6. Густота и расчленение.....	21
2. СТРУКТУРА ОБЪЕКТОВ	23
2.1. Показатели однородности (сортированности составных частей) географических объектов	23
2.2. Построение и анализ карт фоновых и остаточных поверхностей.....	26
2.3. Характеристики соседства природных комплексов	28
2.4. Преобразование как способ изучения структуры.....	30
3. ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ И ДИНАМИКИ ЯВЛЕНИЙ	35
3.1. Вычисление тесноты связи между явлениями, изображёнными на карте, с помощью коэффициента парной корреляции	35
3.2. Построение карты изокоррелят	38
3.3. Использование рангового коэффициента корреляции.....	39
3.4. Использование приёмов теории информации.....	41
3.5. Выделение и сглаживание временных рядов.....	44
4. ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ.....	46
4.1. Плоскостной (микроручейковый) смыв	46
4.2. Овражная эрозия	48
4.3. Русловые процессы	50
4.4. Нивальные формы рельефа	54
4.5. Процессы осыпания и обваливания	58
4.6. Абразионные процессы на водохранилище	60
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	62

ВВЕДЕНИЕ

В учебных планах подготовки бакалавров по направлению 05.03.02 «География» важнейшее место занимают дисциплины методического плана, особенно – «Методы географических исследований». Нередко он является вводным, предваряющим другие курсы методической направленности («Аэрокосмические методы географических исследований», «Ландшафтное планирование», «Географический прогноз», «Геофизика ландшафта» и др.). Большое значение эта дисциплина имеет и в связи с проведением летних учебных полевых практик и самостоятельных полевых исследований студентов.

Данное учебно-методическое пособие содержит задания для практических работ по основным разделам курса, которые можно выполнить в камеральных условиях. Часть заданий составлена с использованием исходного материала, собранного в ходе проведения полевых исследований на территории Удмуртии, в том числе с помощью студентов во время прохождения полевых практик.

Методическое пособие включает в себя необходимую теоретическую часть по каждому разделу, задания для самостоятельной работы студентов и рекомендации по выполнению работ, даются указания о форме представления отчёта. Все сведения даны в объёме, достаточном для их выполнения без привлечения дополнительной справочной литературы. Подбор практических работ выполнен с учётом исходного материала в соответствии с особенностями направления подготовки студентов.

Издание методического пособия вызвано отсутствием подобных изданий, необходимых для проведения практических и лабораторных занятий по курсу «Методы физико-географических исследований». Кроме того, оно может быть использовано при проведении практических работ по курсу «Методы практической картометрии» и спецкурсу «Современные экзогенные геоморфологические процессы».

Цель издания – закрепить теоретические знания по указанным выше дисциплинам, привить студентам навыки проведения самостоятельных работ.

1. КАРТОМЕТРИЯ И МОРФОМЕТРИЯ

Картометрия и морфометрия - графоаналитические приемы, предназначенные для измерения и исчисления по картам различных количественных величин. Эти приемы разработаны в теоретическом и практическом отношении применительно как к топографическим, так и тематическим картам и находят широкое применение в географических науках.

В задачи картометрии входят измерения по картам плановых координат объектов, аппликат (высот, глубин, мощностей), длин, расстояний, площадей, объемов, горизонтальных и вертикальных углов, направлений, а также оценка точности измерений с учётом масштаба и проекции карты.

Морфометрия изучает и разрабатывает способы количественной оценки по картам форм и структур объектов. К наиболее распространенным морфометрическим показателям относятся характеристики формы, плотности, концентрации объектов, глубины и густоты расчленения. Морфометрические показатели, как правило, относительны и вычисляются на основе абсолютных картометрических величин.

В задачи морфометрии и картометрии входит также разработка и совершенствование приемов анализа карт и технической базы метода. В настоящее время развитие графоаналитических приемов идёт преимущественно в направлении разработки комплексных морфометрических показателей синтетического характера (таких, как коэффициент общего расчленения территории, показатель сложности ландшафтной структуры) и упрощения известных способов измерения и исчисления количественных величин по картам (вместо трудоемких непосредственных измерений используются более простые косвенные с привлечением вероятностно-статистических приемов).

Прогресс в развитии графоаналитических приёмов анализа карт существенно повлиял на становление многих научных направлений, в первую очередь таких, как морфометрия рельефа и морфоструктурный анализ. Картометрия и морфометрия широко используются в неотектонических исследованиях, при прогнозе структур, перспективных в отношении месторождений нефти, газа, солей и т. д., в гидрологии - для оценки форм и размеров озёр, извилистости рек и береговых линий, исследовании структуры гидросети и т.д., в ландшафтоведении - для оценки ландшафтной структуры местности. Широко используются графоаналитические методы и в других науках - океанографии, почвоведении, геоботанике и т.д. Только в морфоструктурном и неотектоническом анализе сейчас используется около 80 различных картографических приемов, не считая частных модификаций.

Диапазон картометрических и морфометрических работ очень широк, - они могут проводиться для очень малых объектов - отдельных склонов или их участков, речных долин и т.п. или отдельных стран, материков и других крупных территорий. В последнее время, помимо традиционных характеристик, в картометрии и морфометрии появились такие, как градиент, интенсивность, количественная структура явлений.

Все разнообразие картометрических и морфометрических показателей может быть сведено к следующим группам:

1. Характеристики размера (протяженность, площадь, объем).
2. Характеристики ориентировки (азимут, экспозиция, угол наклона, градиент).
3. Характеристики формы (вытянутость, извилистость, кривизна, асимметрия, компактность и т.д.).
4. Показатели плотности (густота, частота, концентрация, равномерность, соседство и т.д.).
5. Показатели расчленения (вертикальное, горизонтальное, общее).
6. Характеристики структуры (коэффициент сложности, индекс дробности, мера однообразия, коэффициент неоднородности, энтропийные меры сложности и т.д.).

В отдельную группу можно выделить элементарные картометрические характеристики - плановые координаты, аппликаты. Способ их определения достаточно хорошо известен, поэтому в данном случае их можно не рассматривать.

Разнообразие картометрических и морфометрических характеристик обусловлено широтой областей их применения в науках о Земле.

Из перечисленных выше показателей характеристики размера и ориентировки относятся к собственно картометрическим, остальные являются морфометрическими.

1.1. Характеристики протяжённости

Длины линий на картах могут быть измерены разными способами, при этом точность измерения и его способ определяются характером самой линии. Прямые и ломаные линии измеряют обычно с помощью циркуля-измерителя или курвиметра с точностью, близкой к предельной для данного масштаба карты. Трудности возникают при измерении длин извилистых линий: рек, горизонталей, контуров и т.д. - с помощью курвиметра можно получить для них только приближенные результаты. Универсальным способом считается использование циркуля-измерителя с растворами от 1 до 4 мм. Лучше всего иметь измеритель с микрометрическим винтом, который удерживает установленный раствор игл. Для определения цены раствора циркуля необходимо перед началом работы измерить отрезок километровой сетки или другой линии известной длины на данной карте.

Однако и измерения с помощью циркуля-измерителя не дают истинных длин, поскольку в результате генерализации извилистые линии на картах бывают укорочены по сравнению с реальными. К тому же циркулем мы измеряем не сами извилистые линии, а стягивающие их хорды.

Малые растворы циркуля не увеличивают точность, хотя и позволяют учесть мелкие изгибы, вследствие увеличения систематической ошибки из-за большого числа отложений. К тому же такие измерения чрезвычайно трудоемки.

Для увеличения точности длину линии определяют поочередно двумя измерителями с разными растворами (например, 1 и 3 мм) или по двум картам разных масштабов. Эмпирически установлена закономерность распределения погрешности измерения в зависимости от величины раствора циркуля. Формула, по которой вычисляют длины извилистых линий, основана на учете этой зависимости:

$$L = l_1 + \frac{1}{3}(l_1 - l_2) - \frac{1}{3}k(l_1 - l_2)$$
$$\text{где } k = \frac{(0,5d_2 - d_1)}{(d_2 - d_1)} \quad (1.1)$$

В этих формулах l_1 и l_2 — длины извилистых линий, полученных при двух измерениях циркулями с растворами d_1 и d_2 , ($d_2 > d_1$).

При измерении длин извилистых линий можно разбивать их на отдельные участки, отличающиеся друг от друга по степени извилистости и использовать при подсчётах разные растворы циркуля.

При подсчете суммарной длины извилистых линий на участке карты (например, общей длины эрозионной сети речного бассейна, суммы длин изолиний и т.п.), необходимой для вычисления разнообразных морфометрических показателей, традиционные непосредственные измерения становятся чрезвычайно трудоемкими. Поэтому в подобных случаях используют вероятностные способы. Доказано, что если на семейство извилистых линий наложить сетку квадратов со стороной d , то число пересечений извилистых линий со сторонами квадратов окажется прямо пропорциональным их суммарной длине:

$$\sum L = \frac{\pi dm}{4} \quad (1.2)$$

где m - число пересечений, подсчитываемое по карте.

Для подсчета $\sum L$ изготавливаются палетки на прозрачной основе в виде сетки квадратов, она накладывается на карту и подсчитывается число пересечений. Для увеличения точности измерений палетку разворачивают на 45° , проводят повторный подсчёт и среднее значение m подставляют в формулу.

При таком измерении, основанном на статистических закономерностях, погрешность составляет 3-5 % и лишь в отдельных случаях может достигать 10 % (без повторного подсчета). Если требуется получить более точный результат, то необходимо произвести ещё два подсчёта, повернув палетку на $22,5^\circ$ и $67,5^\circ$.

Точность измерений зависит и от густоты самих линий. При густоте линий на карте порядка 10-12 см/см² относительная погрешность составляет около 1%, при густоте 1-2 см/см² она возрастает до 6-8%.

Результаты опытных измерений показывают, что наименьшие погрешности дают палетки со сторонами 0,2-0,4 см, поэтому на практике можно брать палетку со стороной 0,4 см, как менее трудоёмкую.

Ошибки измерений менее 3-4% часто не имеют очень большого значения для вычисления обобщающих показателей, так как при обработке данных значения признака группируются в определённые интервалы, ширина которых больше ошибок измерений. Незначительные ошибки измерений линейных объектов не имеют существенного значения также и для выявления закона распределения наблюдаемых величин.

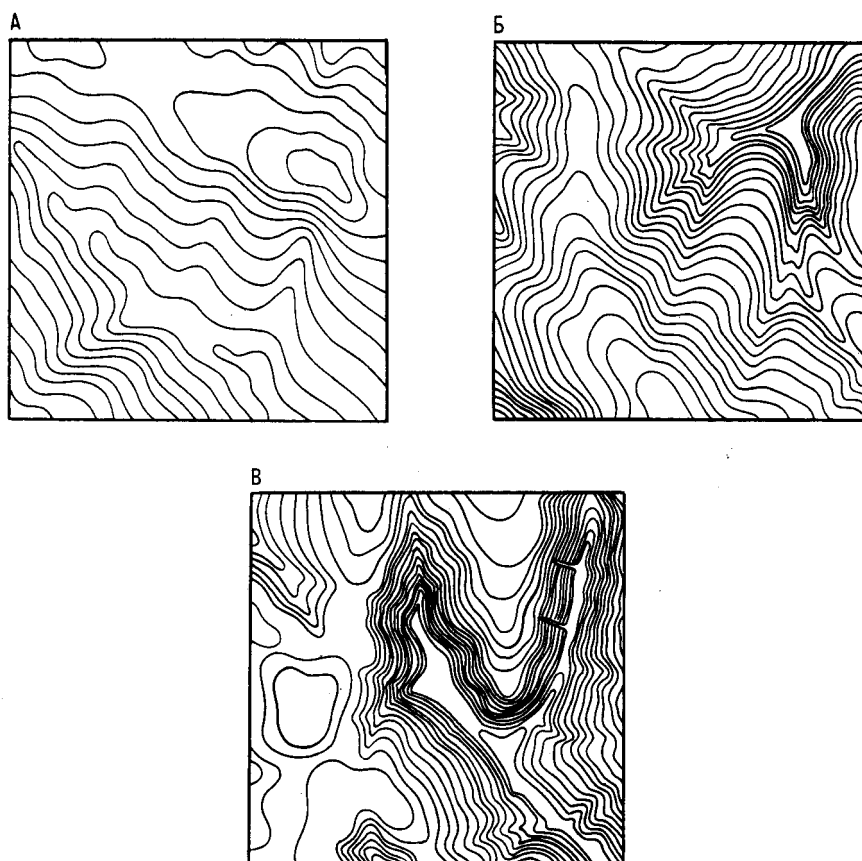


Рис.1.1. Участки с различной плотностью изолиний.

Задание: для трёх участков, изображённых на рис. 1.1, определить суммарную протяжённость и густоту изолиний.

Порядок выполнения:

1. Вычертить на кальке палетку со стороной квадрата 0,4 см.
2. Произвести для каждого участка подсчёт количества пересечений изолиний с сеткой палетки.
3. Произвести повторный подсчёт, повернув палетку на 45° относительно первоначального её положения.
4. Вычислить среднее по двум подсчётам значение протяжённости изолиний. Вычислить значение густоты изолиний.
5. Проанализировать полученные данные.

Форма представления отчёта:

1. Данные подсчётов.
2. Краткий текстовый анализ данных.

Список литературы

Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. М.: Мысль, 1986.
Егоров И.Е. Методическое руководство по практической картометрии и морфометрии. Ижевск: Изд-во Удмуртского ун-та, 1992.

1.2. Сложение и вычитание поверхностей

Аппликации – значения высот и глубин – относятся к простейшим картометрическим характеристикам. Вместе с тем их использование позволяет выполнять операции сложения и вычитания поверхностей, изображённых на картах с помощью изолиний. Задачи сложения возникают, в частности, в геологии и геоморфологии при подсчёте суммарных мощностей отложений горных пород, в метеорологии при вычислении сумм температур за какой-либо промежуток времени или количества осадков по сезонам и т.д. Графическое вычитание одной поверхности из другой применяется при подсчётах объёмов снесённого и аккумулярованного материала, определении поверхностной и подземной составляющих суммарного стока и в других балансовых расчётах. Операцию вычитания поверхностей применяют также при сопоставлении разновременных карт.

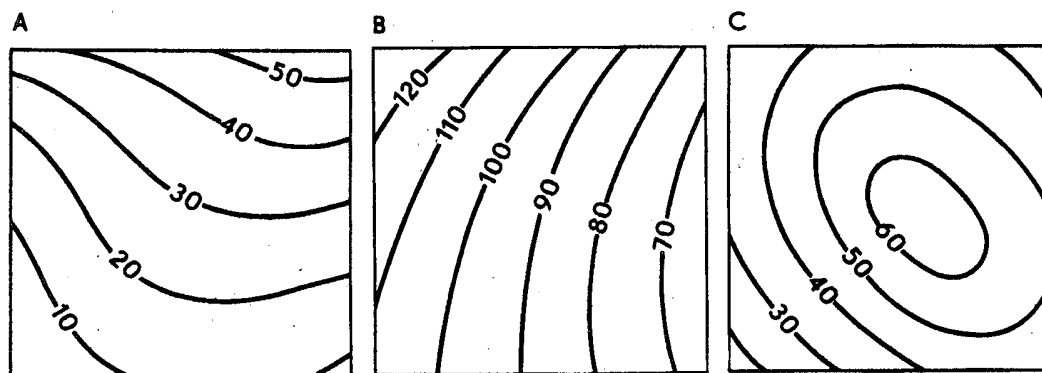


Рис.1.2. Графическое сложение поверхностей

Задание: произвести графическое сложение поверхностей, изображённых на рис. 1.2 и графическое вычитание поверхностей, изображённых на рис.1.3.

Порядок выполнения:

1. Скопировать на кальку изолинии поверхности А на рис.1.2, затем совместить поверхности А и В.
2. В точках пересечения горизонталей подсчитать и проставить суммы их значений.

3. По полученным значениям вычертить суммирующую поверхность.
4. Поверхность суммы А и В совместить с поверхностью С. В точках пересечения горизонталей к сумме А и В добавить значение С.
5. По полученным значениям построить поверхность итоговой суммы поверхностей.
6. Скопировать на кальку изолинии поверхности А на рис. 1.3 и полученную копию совместить с поверхностью В.
7. В точках пересечения горизонталей произвести вычитание значений В из А.
8. По полученным величинам в точках пересечений провести изолинии разности значений.

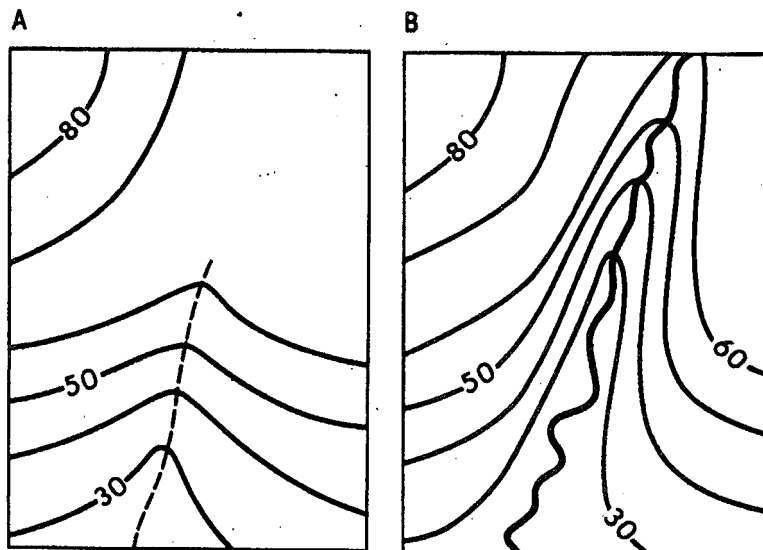


Рис.1.3. Графическое вычитание поверхностей

Форма представления отчёта:

1. Карта сложения поверхностей.
2. Карта вычитания поверхностей.

Список литературы

Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. М.: Мысль, 1986.

1.3. Определение площадей и объёмов

Для определения по картам площадей существуют разнообразные способы. Наиболее доступный и распространенный - с использованием палеток (квадратных, параллельных, гексагональных, точечных, круглых).

Квадратная палетка представляет сеть взаимноперпендикулярных линий, проведенных обычно через 1-2 мм на прозрачной основе. Площадь фигуры определяется простым подсчетом клеток палетки, наложенной на фигуру. Сначала подсчитываются целые клетки, затем к ним добавляется половина числа клеток, рассекаемых контуром на части, после чего определяется площадь фигуры (площадь, которой соответствует одна клетка в масштабе карты, вычисляется заранее).

Для упрощения подсчетов количества клеток рекомендуется провести утолщенные линии через 0,5 см (для палеток с сеткой квадратов 1x1 мм) и 1 см (для палеток с сеткой квадратов 2x2 мм), чтобы подсчитывать клетки группами.

Подсчёт площадей с помощью параллельной палетки менее трудоёмок, по сравнению с квадратной. Эти палетки представляют собой сеть параллельных линий, нанесённых на прозрачную основу через 2-4 мм (рис. 1.4).

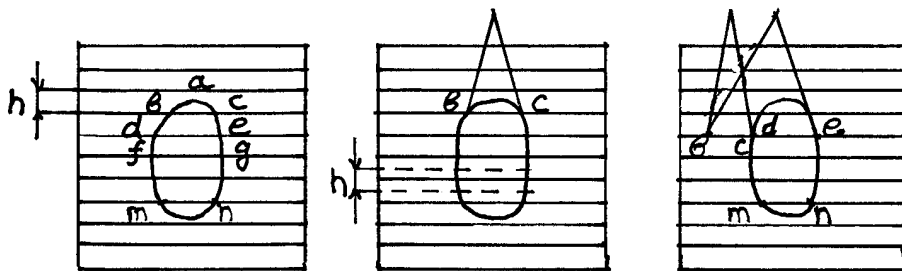


Рис.1.4. Определение площади фигуры с помощью параллельной палетки

Площадь фигуры определяют параллельной палеткой следующим образом: палетку накладывают на контур так, чтобы крайние точки разместились между линиями палетки. Таким образом, весь контур оказывается разделённым параллельными линиями палетки на трапеции с одинаковыми высотами, причём отрезки параллельных линий внутри контура являются средними линиями трапеций. Прерывистыми линиями на рис. 1.4 показаны основания этих трапеций. Площадь всей фигуры будет равна

$$F = bc * h + de * h + fg * h + \dots + mn * h$$

так как все высоты равны, то

$$F = h(bc + de + fg + \dots + mn), \quad (1.3)$$

то есть, чтобы получить площадь контура, нужно определить сумму всех средних линий – отрезков параллельных прямых палетки, проходящих внутри контура, и умножить на расстояние между ними.

Сумма средних длин линий набирается в раствор циркуля, измеряется и полученная длина умножается на расстояние h . Обе перемножаемые величины предварительно приводятся к соответствующим значениям в зависимости от масштаба карты. Например, при масштабе карты 1:100 000 для линий палетки, проведённых через 2 мм, $h = 200$ м. Если сумма средних линий равна 6,4 см (что соответствует 6,4 км на местности), то площадь контура будет равна 1,28 км².

Для квадратной и параллельной палеток абсолютная ошибка измерений зависит от величины площади и выражается формулой:

$$\Delta f = \pm 0,03\sqrt{F} \quad (1.4)$$

Теоретической основой определения площадей с помощью точечной квадратной и точечной гексагональной палеток является закономерная зависимость между площадью плоской фигуры, количеством точек, равномерно расположенных внутри неё и расстоянием между точками.

Палетка, состоящая из точек, расположенных по квадратной сетке (рис.1.5а), представляет собой видоизменённый вариант квадратной палетки, где каждая точка является центром квадрата.

Подсчёт ведётся по формуле $F = a^2n$, где a – расстояние между точками, n – количество точек внутри измеряемой площади. Если точка попадает на границу контура, то она суммируется с весом 0,5, иначе говоря, две точки, лежащие на линии контура, считаются за одну.

Точки палетки могут быть расположены не по квадратной сетке, а по сетке шестиугольников (рис.1.5б). Такие палетки предпочтительнее точечных квадратных, так как шестиугольники обычно лучше вписываются в неправильные контуры измеряемых площадей.

Площадь, подсчитанная с помощью гексагональной палетки, вычисляется по формуле:

$$F = 0,866R^2n, \quad (1.5)$$

где R – расстояние между точками в строке.

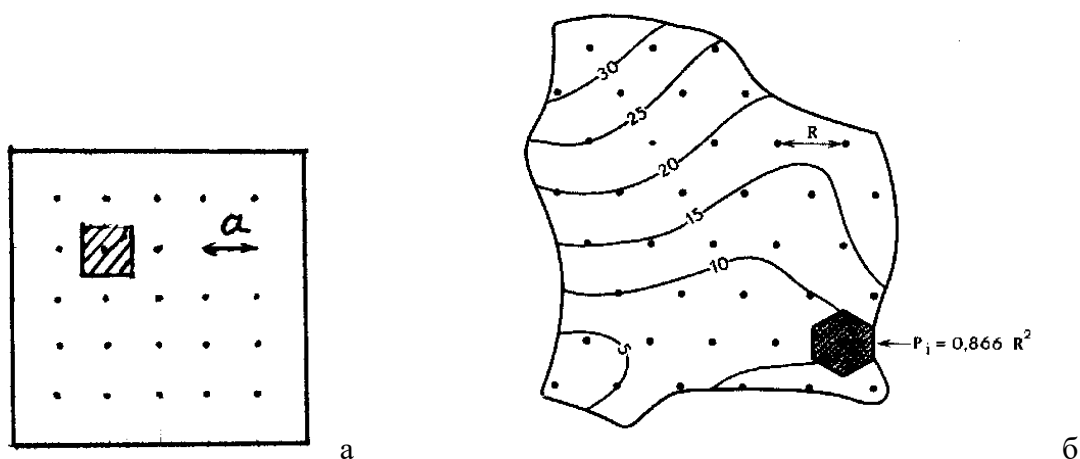


Рис.1.5. Точечная квадратная (а) и гексагональная (б) палетки.

Как и для квадратной палетки, точка, попавшая на линию контура, учитывается с весом 0,5.

Точность измерений с помощью точечных палеток возрастает с увеличением числа точек, то есть с уменьшением расстояния между ними, однако брать расстояния меньше 2мм нецелесообразно. Величина ошибки измерения площадей с помощью точечной квадратной палетки может быть рассчитана по формуле (1.5). Для гексагональной палетки ошибку в определении площади рекомендуют оценивать по формуле:

$$\Delta f = R(1,36\sqrt{F} + 1,73R) \quad (1.6)$$

Предельная относительная ошибка при использовании точечного способа выражается формулой $1/(2n - 1)$, то есть будет равна при одной точке 1/1, при 2 – 1/3, при 3 – 1/5, при 50 – 1/99 и т.д. Таким образом, при значительном числе точек относительная погрешность невелика.

Наиболее эффективным способом вычисления площадей крупных фигур является весовой. Контур измеряемой фигуры переносят на кальку, после чего аккуратно вырезают. Из того же листа кальки вырезают несколько прямоугольников, площадь которых точно измеряется линейкой или циркулем. Затем поочерёдно на точных весах взвешивают эталонные прямоугольники, а затем измеряемую фигуру. По весам эталонов определяется вес единицы площади, на эту величину делится вес фигуры. Эталонные прямоугольники следует вырезать из разных частей листа кальки, чтобы установить, меняются или нет плотность и вес бумаги. Если весовые характеристики эталонов заметно меняются, то использование такой бумаги нежелательно.

Точность определения площадей весовым способом зависит не только от качества бумаги, но и от точности изготовления эталонов, точности вырезания контуров. При использовании хорошей бумаги и соблюдении необходимой точности вырезания эталонов и фигур, абсолютная погрешность измерения обычно не превышает $0,2\text{см}^2$. Для площадей свыше 20см^2 относительная погрешность составит не более 1%.

С измерением площадей тесно связано вычисление объёмов по картам. Такие задачи часто возникают при определении количества осадков, запасов воды в снежном покрове, объёма горных пород, объёма ледников и т.д.

Если объект изображён на карте изолиниями (горизонталями, изобатами и др.), то его объём можно вычислить как сумму объёмов отдельных слоёв, заключённых между плоскостями сечения. Для этого требуется предварительно подсчитать площади всех ступеней, ограниченных этими изолиниями, а затем вычислить объём по формуле:

$$V = \sum((f_i + f_{i+1})/2)h, \quad (1.7)$$

где f_i и f_{i+1} – площади верхней и нижней плоскостей, ограничивающих слой толщиной h (рис.1.6). Площади f_i и f_{i+1} в данном случае лучше определять способом взвешивания.

Объём можно определить и используя точечные палетки, при этом не требуется непосредственное измерение площадей. На карте размещается сетка равноотстоящих точек и для каждой из них определяется аппликата h_i .

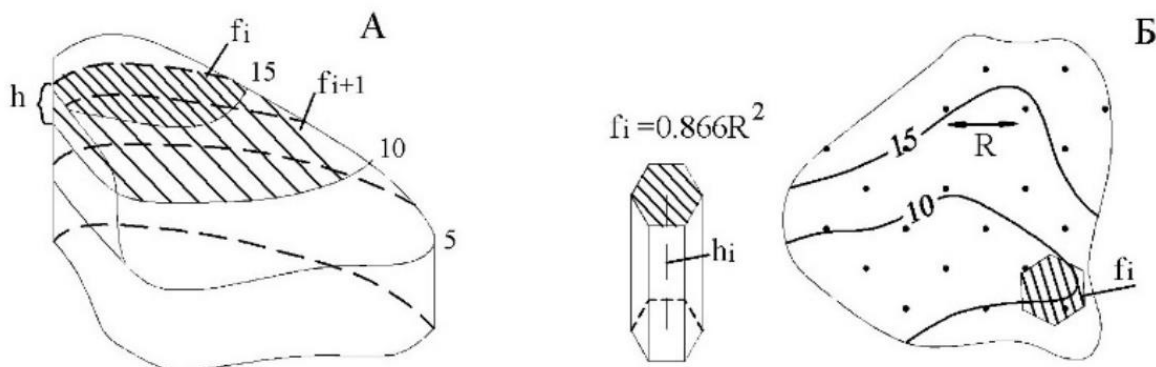


Рис.1.6. Определение объёмов по карте.

Каждой точке палетки соответствует определённая площадь, отсюда $V = f_i \sum h_i$, где f_i - площадь, соответствующая одной точке палетки, $\sum h_i$ - сумма значений аппликат всех точек на данной площади. Для гексагональной палетки $f_i = 0,866R^2$, и объём будет выражаться формулой

$$V = 0,866R^2 \sum h_i \quad (1.8)$$

С целью уточнения результатов объём следует подсчитать несколько раз при разных положениях палетки. Относительная погрешность определения объёма гексагональной палеткой при числе точек свыше 40-50 находится в пределах от 2% до 6%, меняясь главным образом в зависимости от сечения изолиний на картах, то есть от точности интерполирования.

Другой способ измерения объёмов требует предварительного построения кумулятивной кривой. Для этого на карте тем или иным способом измеряют площади всех высотных ступеней, заключённых между соседними изолиниями, а затем подсчитывают накопленные значения площадей. После этого строят график, на котором по оси ординат откладывают интервалы высотных ступеней, а по оси абсцисс - накопленные величины площадей. Соединив точки на графике плавной кривой, получают кумуляту или интегральную кривую распределения высот. Хорошо известным примером кумуляты является гипсографическая кривая (рис.1.7).

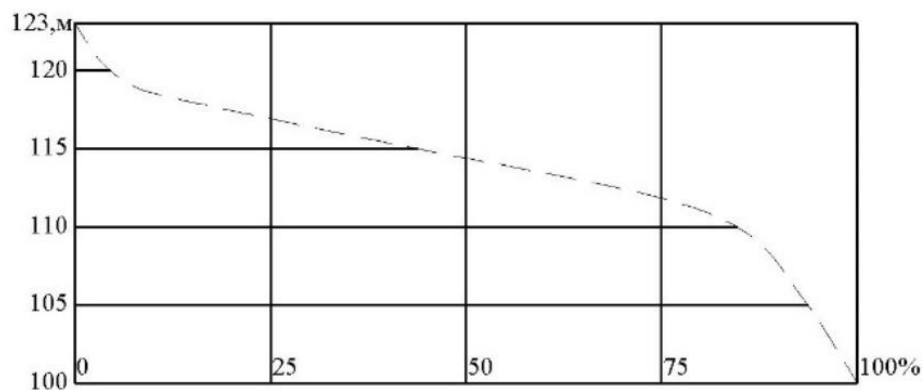


Рис.1.7. Гипсографическая кривая.

Площадь, ограниченная кумулятивной кривой, соответствует искомому объёму.

В большинстве случаев ошибка определения средней высоты по своей абсолютной величине значительно меньше ошибки определения площади, поэтому приближённо можно считать, что относительная погрешность вычисления объёма равна ошибке определения площади.

Задание: А – определить запасы воды в снеге для территории Тюменской области с помощью гексагональной палетки (рис.1.8).

Порядок выполнения:

1. Определить запасы воды в снеге построчно в каждой точке наложенной на карту гексагональной палетки.

2. Произвести построчное суммирование значений и записать полученный результат каждой строки.

3. Вычислить сумму значений всех строк.

4. Вычислить объём запасов воды в снеге, используя формулу (1.8) и предварительно приведя все значения к единым единицам измерения.

Форма представления отчёта:

Данные построчных подсчётов, общей их суммы и значение величины объёма запасов воды в снеге.

Б – построить гипсографическую кривую водосборного бассейна р. Белички (учебная топографическая карта «Снов»).

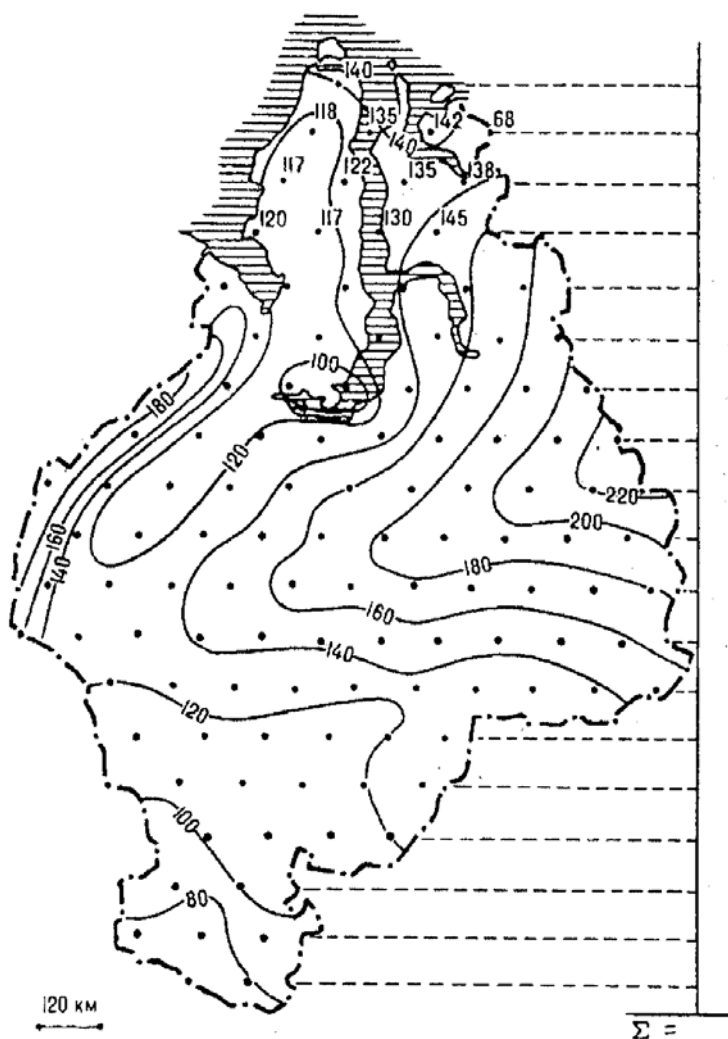


Рис.1.8. Запасы воды в снеге (в мм слоя) территории Тюменской области.

Порядок выполнения:

1. На миллиметровой бумаге построить гипсографическую кривую. На оси абсцисс отложить проценты площадей интервалов высот, на оси ординат – высоты водосборного бассейна.
2. Перенести на кальку линию водораздела и изогипсы.
3. На той же бумаге вычертить и вырезать эталонные прямоугольники, произвести их взвешивание и определить весовые характеристики единицы площади. Оценить разброс значений единицы площади по разным эталонным прямоугольникам.
4. Вырезать из кальки по линии водораздела территорию водосборного бассейна и разрезать её на фрагменты по линиям изогипс. Взвесить отдельно участки с разными высотными интервалами и определить их площадь.
5. Подсчитать долю каждой высотной ступени (в процентах) от площади всего водосборного бассейна.
6. Вычертить гипсографическую кривую водосборного бассейна. Для этого вначале построить на миллиметровой бумаге столбиковую диаграмму, на которой по оси ординат откладывается высота, а ширина столбиков должна соответствовать проценту площади, занимаемой теми или иными ступенями высот, начиная с наивысших. Затем на диаграмме последовательно соединить левые верхние углы высотных столбиков.
7. Вычислить среднюю высоту водосборного бассейна и объём горных пород выше базиса эрозии.

Форма представления отчёта:

1. Данные подсчётов.
2. Гипсографическая кривая.

Список литературы

- Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. М.: Мысль, 1986.
- Егоров И.Е. Методическое руководство по практической картометрии и морфометрии. Ижевск: Изд-во Удмуртского ун-та, 1992.

1.4. Характеристики ориентировки

К параметрам ориентировки относятся азимут (направление), экспозиция, угол наклона, градиент.

А. Направление (угол). Направления (углы, азимуты) – характеристики, получаемые для линейных объектов целиком или их отрезков. Они имеют значение при изучении рек, тектонических разломов, направлений горных хребтов, береговых и водораздельных линий, границ физико-географических явлений и т.д. Характеристики направлений помогают выявить преимущественные направления линейных объектов, оценить влияние тех или иных факторов, определяющих их формирование.

Измерение углов и направлений отдельных линий на картах, не имеющих искажений, не представляет большой сложности и выполняется с помощью геодезического транспортира с точностью до 15'. Для мелкомасштабных карт способы измерения углов и направлений сложны и индивидуальны для каждой проекции. Обычно такие измерения проводятся с помощью специальных номограмм или таблиц, позволяющих вычислить углы по координатам начальной и конечной точек направления без непосредственных измерений. Если необходимо проводить многочисленные замеры направлений, то использование номограмм и таблиц становится неудобным из-за больших затрат времени. В этом случае целесообразно все измерения проводить по картам, где искажения отсутствуют.

При определении направлений линий обычно требуется и вычисление их длин. Для проведения подобных работ по крупномасштабным картам лучше всего пользоваться круговыми палетками, снабжёнными градусной сеткой или разделёнными на сектора соответственно сторонам горизонта. Во втором случае необходимо указать заранее, как будет определяться направление отрезка, совпавшего с разделительной линией. Например: при совпадении измеряемой линии с разделительной, считать её принадлежащей следующему по часовой стрелке сектору.

Во многих случаях целесообразно использовать шкалу 180° и проводить исследования по следующему алгоритму:

- шкала 180° разбивается на интервалы (в 5° , 10° или 15°);
- каждый интервал считается признаком и обозначается S_i (при интервале в 5° i принимает значения от 1 до 36);
- планшеты покрываются квадратной сеткой;
- в каждом квадрате проводятся замеры изучаемых линейных объектов; попадание отрезка в некотором квадрате в i -ый интервал кодируется;
- строится график распределения вероятностей направлений или роза-диаграмма.

Задача определения ориентированности может быть поставлена и для площадных объектов (озёр, солончаков, ареалов почв, видов растений и т.д.). В этом случае сначала вычерчивается положение длинных осей контуров, а затем определяется их протяжённость, азимут или направление; строится роза ориентировки.

Задание: по тектонической карте Удмуртии (атлас Удмуртской республики) определить направления тектонических разломов и трещин фундамента.

Порядок выполнения:

1. На кальке изготовить квадратную палетку с ячейками размером $1,5 \times 1,5$ см.
2. Изготовить круговую палетку шкалой 180° , разбитую на интервалы в 15° .
3. На тектонической карте расположить квадратную палетку таким образом, чтобы линии палетки располагались по направлениям С-Ю и З-В.
4. Произвести замеры тектонических разломов в соответствии с приведённым выше алгоритмом. Попадание отрезка линии в тот или иной интервал определяется с помощью круговой палетки или транспорта.
5. По результатам измерений построить розу-диаграмму ориентировки тектонических разломов.

Форма представления отчёта:

1. Данные подсчёта ориентировки линий по направлениям.
2. Роза-диаграмма ориентировки тектонических разломов.

Б. Уклон. Для определения угла наклона поверхности в данной точке карты необходимо установить значения высот двух ближайших к ней горизонталей (h_i и h_{i+1}) и кратчайшее расстояние между ними (l): $tg\alpha = h_i - h_{i+1}/l$.

Вычислив тангенс, легко найти значение угла. Задача определения уклонов упрощается, если внизу карты имеется график масштаба заложений (рис.1.10).

Средняя величина крутизны склонов какого-либо участка на карте может быть определена по формуле: $tg\alpha = h \sum l / F$, где h – сечение рельефа, $\sum l$ – сумма длин горизонталей, F – площадь участка. Сумма длин горизонталей может быть вычислена по формуле (1.2).

При изучении бассейнов малых рек иногда исследователи для характеристики уклонов используют очень простой коэффициент $K = \Delta h / L$, где Δh – разница высот водосбора, L – его наибольшая длина.

В зарубежной морфометрии для обобщённой характеристики уклонов речных бассейнов используют выражение: $S = \Delta h * 2Q$, где S – средний уклон, Δh – разница высот в бассейне, Q – густота речной сети.

Для рек и временных русловых потоков уклоном называют их падения, то есть отношения разницы высот между истоком и устьем к длине.

Обычно уклон реки – величина небольшая и её чаще выражают в безразмерных величинах – в процентах (%) или промилле (‰). Например, если разница отметок истока и устья реки составляет 150 м, а длина реки равна 120 км, то уклон будет составлять:

$$i = 150 \text{ м} / 120000 \text{ м} = 0,00125 \text{ или } 1,25\text{‰}, \text{ или } 12,5\%$$

В числовом выражении величина промилле соответствует величине уклона, выраженной в м/км.

Задание: составить карту углов наклона поверхности для фрагмента топографической карты (рис. 1.9).

Порядок выполнения:

1. Сначала следует разработать шкалу градаций крутизны земной поверхности. Следует иметь в виду, что с практической точки зрения она может быть различна, в зависимости от того, для каких целей составляется карта. В данном случае рекомендуется выделить следующие градации крутизны: от 0 до 2°, от 2° до 5°, от 5° до 10°, от 10° до 20° и свыше 20°. Отдельно выделить днище речной долины.

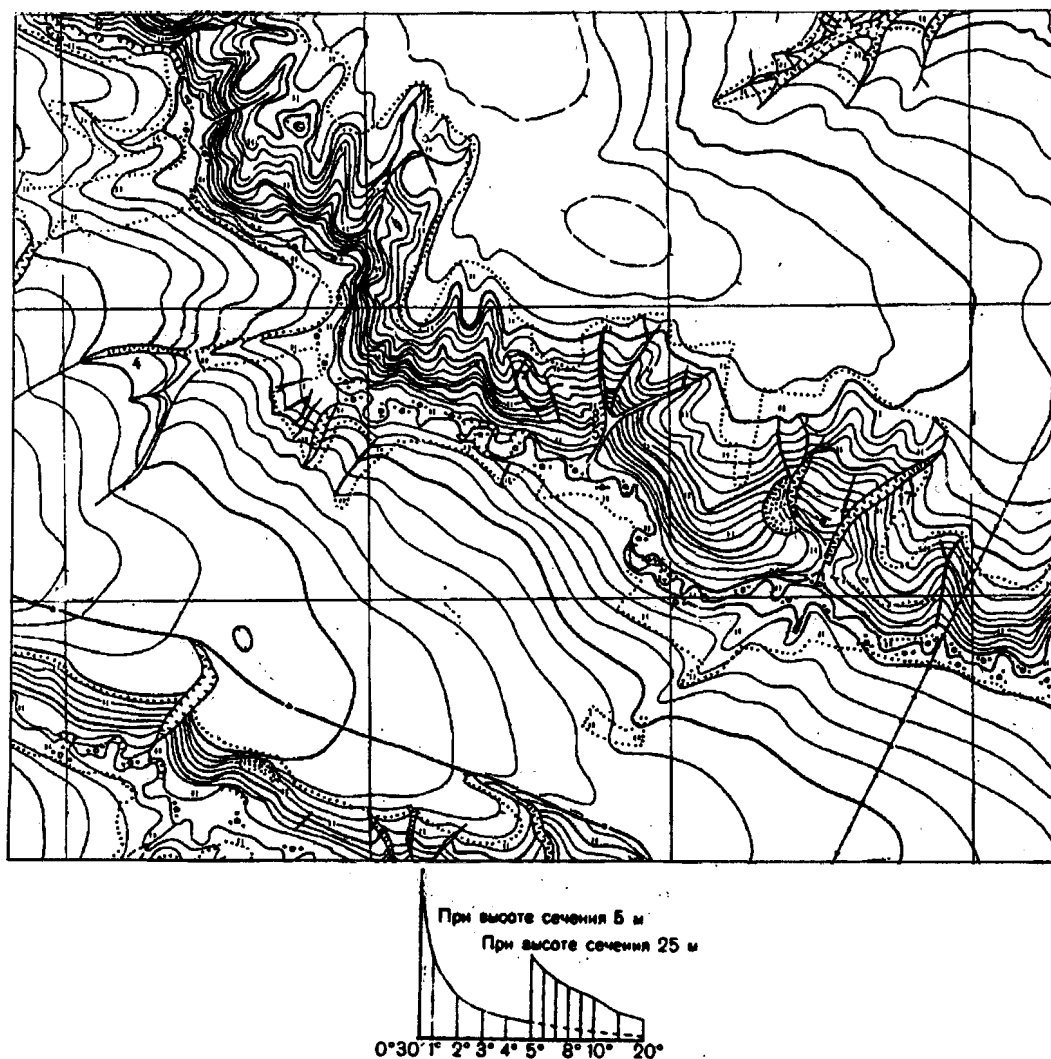


Рис.1.9. Фрагмент топографической карты. М.1:25000.

2. Наложить на карту кальку и при помощи графика масштаба заложений выделить на карте и нанести на кальку участки с искомой крутизной склонов.

3. Оформить карту штриховкой или цветным фоном по правилу: чем круче склон, тем интенсивнее штриховка или фоновая окраска.

Форма представления отчёта:

Карта углов наклона поверхности с условными обозначениями к ней.

В. Экспозиция. Экспозиция – это ориентировка склонов гор, долин, балок, оврагов и других форм рельефа по отношению сторонам света и плоскости горизонта. Экспозиция обуславливает дифференциацию территории по микроклимату, характеру действующих рельефообразующих процессов, почв, растительности и ландшафта в целом.

Экспозицию определяют по направлению линии ската, проведённой перпендикулярно изогипсам (рис.1.10).

Так, если линия ската имеет вниз по склону юго-западное направление, то экспозиция склона также будет Ю-З.

Задание: составить карту экспозиции склонов для фрагмента топографической карты (рис. 1.9).

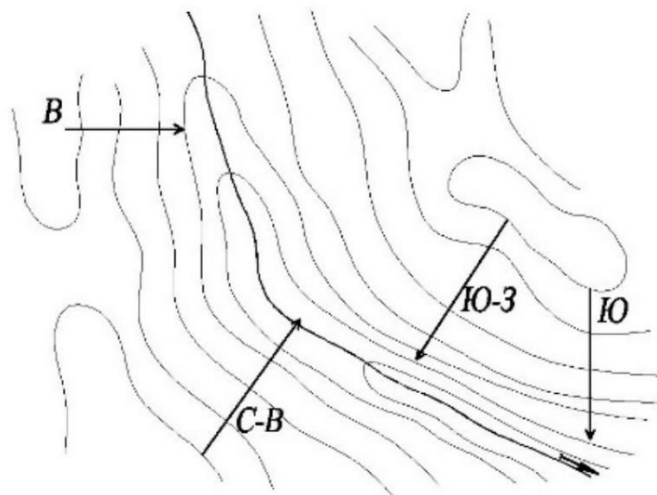


Рис.1.10. Определение экспозиции склонов речной долины.

Порядок выполнения:

1. Выделить на карте днища долин. Они отрисовываются по характерному переходу от сгущённых горизонталей склонов к разреженным горизонталям долинных террас. Если долина асимметрична и пологий склон постепенно переходит в днище долины, границу между склоном и днищем следует провести по аналогии с крутым склоном, на котором переход чётко фиксируется.

2. Выделить на карте овражно-балочную сеть.

3. Выделить на карте водораздельные пространства.

3. Изготовить из кальки правильный восьмиугольник, внутри которого провести оси через центр к серединам сторон. Восьмиугольник прикладывается одной из вершин к горизонтали. Вершина восьмиугольника должна располагаться по высоте ниже данной горизонтали. Вершина перемещается вдоль горизонтали до тех пор, пока углы между горизонталью и сторонами восьмиугольника не станут равными. В этот момент на горизонтали делается отметка, фиксирующая границу между экспозициями.

Форма представления отчёта:

Карта экспозиции склонов с условными обозначениями к ней.

Список литературы

- Атлас Удмуртской республики. М.: Изд-во ДИК, 2010.
- Егоров И.Е. Методическое руководство по практической картометрии и морфометрии. Ижевск: Изд-во Удмуртского ун-та, 1992.
- Спиридонов А.И. Основы общей методики полевых геоморфологических исследований и геоморфологического картирования. М.: Высшая школа, 1970.

1.5. Характеристики формы

А. Асимметрия. Показатели асимметрии чаще всего применяются в геоморфологии в отношении склонов и речных бассейнов. Для речных бассейнов коэффициент асимметрии определяется по формуле:

$$A = \frac{F_1}{F_2} \quad (1.9)$$

где F_1 - площадь левой части бассейна; F_2 - правой.

Асимметрию склонов обычно оценивают либо с помощью углового индекса (индекса наклона) W :

$$W = 1 - \frac{t_1}{t_2},$$

где t_1 - угол наклона пологого склона, t_2 - крутого, либо по индексу длины L :

$$L = \frac{l_1}{l_2} \quad (1.10)$$

где l_1 - длина крутого склона, l_2 - пологого.

Как показывает опыт исследований по асимметрии, при полевых работах лучше использовать угловой индекс, при камеральных - индекс длины.

Г. Карраш ввел также понятия частоты и густоты долинной асимметрии. Частота долинной асимметрии вычисляется как доля протяженности асимметричных долин в общей длине всех долин; густота долинной асимметрии - длина асимметричных долин, приходящаяся на 1 км².

Асимметрию долин в камеральных условиях изучают следующим образом. В зависимости от длины долины и ее морфологии проводится поперечное профилирование через 2-3 км для средних рек и 0,5-1 км - для малых. При профилировании снимаются следующие характеристики: местоположение профиля, экспозиция крутого склона (по 8 румбам), его положение (левый или правый), длина горизонтального проложения крутого и пологого склонов, высота крутого склона. Для средних и крупных рек дополнительно определяется ширина правосторонней и левосторонней пойм. Длина горизонтального проложения измеряется от подошвы до бровки склона. Если бровку установить сложно, то за нее принимается равновеликая горизонталь для обоих склонов. Все данные заносят в таблицу.

Задание: Рассчитать характеристики асимметрии для бассейна р. Ленвай (рис.1.11) по формулам (1.10) и (1.9).

Порядок выполнения:

1. Рассчитать коэффициент асимметрии по индексу длины, руководствуясь приведенным выше порядком проведения вычислений.
2. Вычислить коэффициент асимметрии бассейна реки, для чего сначала определить положение линии водораздела, а затем - площади левой и правой частей бассейна.

Форма представления отчёта:

1. Таблица данных вычислений длин.
2. Значения коэффициентов асимметрии.

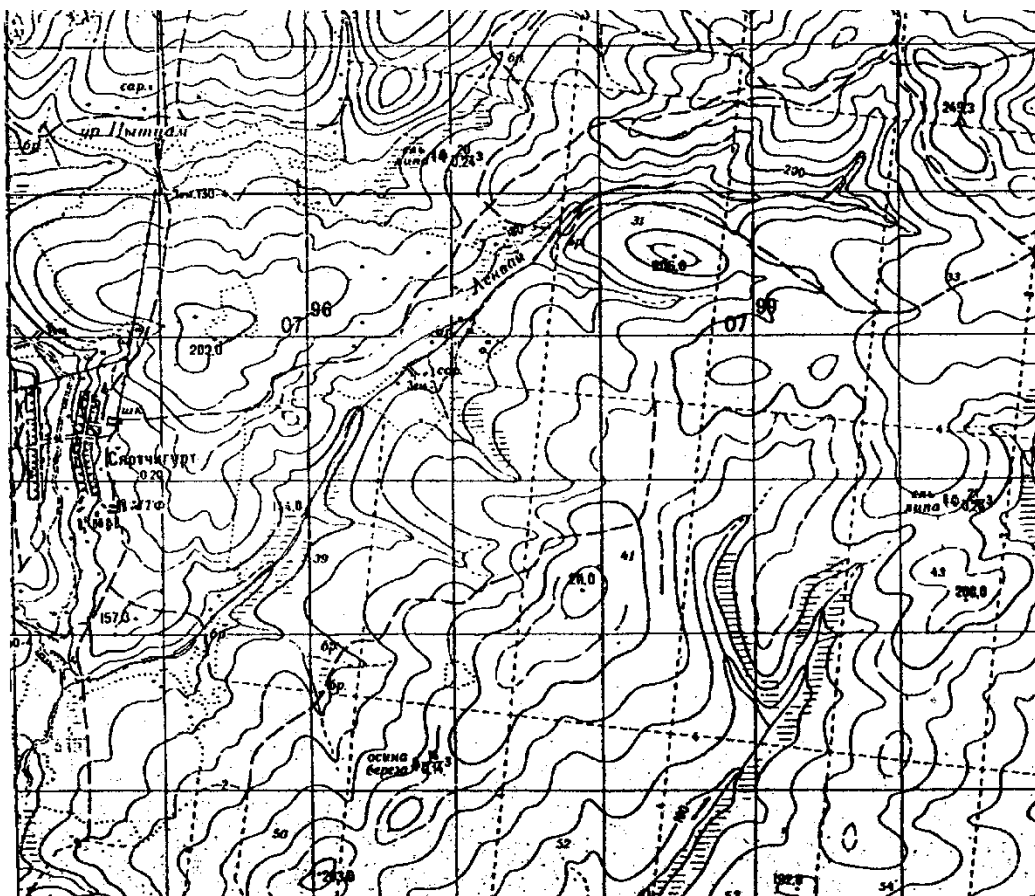


Рис. 1.11. Фрагмент топографической карты. Бассейн р. Ленвай. М.1:100 000.

Б. Извилистость. Задача определения извилистости часто ставится в географии при изучении берегов морей, озёр, островов, расположения каких-либо физико-географических рубежей (границ), речной сети и т.д. Наиболее объективными способами определения извилистости являются следующие:

- сравнение фактической длины линии с длинами построенных около неё условных контуров (рис. 1.11), проведённых касательно к наиболее выступающим точкам извилистой линии. После измерения длин всех линий вычисляется коэффициент извилистости:

$$K = \frac{L_i}{(L_o + L_b)/2} \quad (\text{обозначения индексов на рис. 1.12}). \quad (1.11)$$

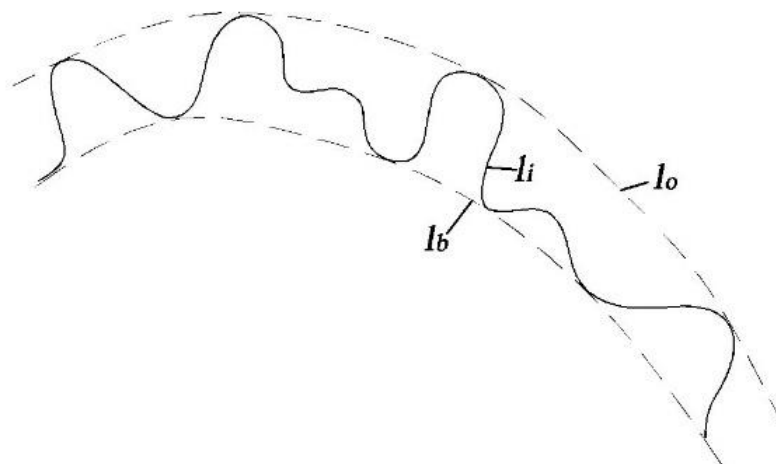


Рис.1.12. Определение извилистости линии с помощью условных контуров

- подсчёт количества и длин элементарных отрезков, составляющих линию. Извилистая линия разделяется точками перегиба на элементарные отрезки, определяется длина этих отрезков (L_1) и длина прямых линий, соединяющих концы этих отрезков (L_2); подсчитываются средние значения L_1 и L_2 , и затем – коэффициент извилистости:

$$K = \frac{L_{1cp}}{L_{2cp}}$$

В качестве показателя извилистости замкнутой линии, ограничивающей какой-либо контур (остров, озеро, почвенный или растительный ареал и т.п.) обычно используется коэффициент Нагеля: $P = \frac{L}{2\pi R}$, где L – длина извилистой линии, $2\pi R$ – длина окружности круга, площадь которого равна площади контура, ограниченного этой линией.

Также иногда используется показатель, сравнивающий площади частей, отрезанных вписанным контуром с оконтуривающим.

Задание: Определить коэффициент извилистости по формуле (1.11) для отрезков русел двух рек, изображённых на рис. 1.9.

Порядок выполнения:

1. Перенести на кальку линии речных русел, изображённых на рис. 1.9.
2. Нанести на кальку условные контуры, руководствуясь рис. 1.12.
3. Определить длины контуров с помощью курвиметра и речных русел циркулем.
4. Вычислить коэффициенты извилистости рек.

Форма представления отчёта:

1. Выкопировки речных русел с нанесёнными условными контурами.
2. Значения коэффициентов извилистости рек.

В. Компактность. Компактность форм речных бассейнов, каких-либо ареалов и других площадных объектов обычно определяется путём их сопоставления со стандартными геометрическими фигурами – кругом, квадратом и т.п.

В геоморфологии и гидрологии в качестве показателя, отражающего форму бассейна, обычно применяется коэффициент компактности. Его вычисляют путём сравнения периметра бассейна (P) с периметром круга, равновеликого по площади (F):

$$K = P / 2\sqrt{\pi F} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{F}} \quad (1.12)$$

Для определения коэффициента рекомендуется сначала по возможности немного выровнять контур, поскольку очень неровная линия периметра приводит к завышению значения P и K .

Для характеристики формы контуров предлагается использовать также их площадь (F) и длинную ось (L). Количественный критерий формы S определяется по формуле:

$$S = \frac{1,27F}{L^2}. \quad (1.13)$$

Коэффициент 1,27 подобран так, чтобы для круга индекс был равен 1, для квадрата – 0,64, для шестиугольника – 0,84.

Аналогичный приведённым выше коэффициентам смысл имеет индекс кругообразности $K = 4\pi F / P^2$.

Для количественной оценки форм объектов также рекомендуется использовать в качестве признаков легко определяемые соотношения между площадью фигуры (F), её периметром (P), большей (L_1) и меньшей (L_2) сторонами прямоугольника минимальной площади, описанного вокруг фигуры. Из указанных величин вычисляются соотношения: F/L_1L_2 ; L_1L_2 ; $P/\sqrt{F}$ и другие. В практике морфометрических исследований чаще всего используются первые два. Также форму контура иногда характеризуют соотношениями долей периметра, где кривизна границы положительна, отрицательна и близка к нулю.

Задание: Для притоков р. Ленвай (рис. 1.11) определить коэффициенты компактности (по формуле 1.12) и характеристику формы (по формуле 1.13).

Порядок выполнения:

1. Выделить по карте территории водосборных бассейнов притоков р. Ленвай.
2. Определить длины водораздельных линий, площади водосборов и длинные оси притоков р. Ленвай.
3. Вычислить периметры кругов, равновеликих площадям водосборных бассейнов притоков.
4. Рассчитать значения коэффициентов.
5. Проанализировать полученные данные.

Форма представления данных:

1. Значения полученных исходных данных и результаты подсчётов.
2. Текстовый анализ данных.

Список литературы

Бочаров М.К., Николаев С.А. Математико-статистические методы в картографии. М.: Геодезиздат, 1957.

Егоров И.Е. Методическое руководство по практической картометрии и морфометрии. Ижевск: Изд-во Удмуртского ун-та, 1992.

Рош М. Гидрология суши. Л.: Гидрометеиздат, 1971.

1.6. Густота и расчленение

Характеристики густоты и расчленения являются одними из важнейших, по ним судят о территориальном распределении и распространении изучаемого явления. Они могут выражаться в баллах или абсолютных величинах, оцениваются визуально или инструментально (в абсолютных величинах – только инструментально). Обычно характеристики частоты и густоты исчисляются для линейных и точечных объектов – речной сети, оврагов и балок, тектонических трещин, дорожной сети, населённых пунктов и т.д. Для линейных объектов густота определяется по формуле:

$$V = \frac{\sum L}{F} \quad (1.14)$$

где $\sum L$ – суммарная длина линий, F – площадь. Аналогично определяется густота для точечных объектов – $W = N/F$, (N – число объектов).

Густоту речной сети можно оценивать без непосредственного измерения длин рек, подсчитывая число пересечений линий гидросети (n) с линиями квадратной палетки со стороной (d):

$$V = \frac{1,57dn}{F}$$

Понятие концентрации близко по смыслу к понятию густоты. Концентрация рассчитывается по отношению к расположению какого-либо объекта и показывает степень его влияния на распределение изучаемого явления (например, сельских населённых пунктов относительно города или дорожной сети и т.п.).

Величина вертикального и горизонтального расчленения определяется сравнительно просто. В первом случае используется либо разница высот территории Δh , либо отношение $\Delta h/F$ (F – площадь участка). Однако лучше использовать следующее выражение:

$$E = \frac{(h_{cp} - h_{min})}{(h_{max} - h_{min})},$$

где h_{cp} , h_{max} , h_{min} – средняя, максимальная и минимальная высоты территории. Величина E обычно изменяется от 0,15 до 0,85. Малые значения соответствуют останцовому рельефу,

большие – плоским поверхностям с отдельными западинами. Горизонтальное расчленение определяется по формуле (1.14), в числителе в данном случае указывается суммарная длина тальвегов.

Наибольшее затруднения вызывает определение общего расчленения. Использование в качестве показателя произведения горизонтального и вертикального расчленения имеет не совсем понятный физический смысл и вызывает возражения. Наиболее объективный показатель был предложен В.П. Философовым. Им для определения расчленённости местности были использованы величины физической (F_f) и топографической (F) поверхностей. Упрощённо площадь физической поверхности равна: $F_f = F \sec \alpha$, где α – средний угол наклона поверхности территории. Средний угол наклона может быть вычислен по формуле $\tan \alpha = h \sum l / F$ (h – сечение горизонталей, $\sum l$ – сумма длин горизонталей, F – площадь проекции). Отсюда коэффициент расчленения будет составлять:

$$K = \frac{F_f}{F} \quad (1.15).$$

Величина K тем больше, чем круче склоны данного участка и чем выше горизонтальное расчленение.

Задание: Для территории, изображённой на рис. 1.11 определить густоту речной сети, густоту балочной сети, густоту общего горизонтального эрозионного расчленения, величину вертикально и общего расчленения.

Порядок выполнения:

1. Перенести на кальку разными знаками или цветом речную и временную русловую сеть.
2. Подсчитать общую протяжённость речной сети, балочной сети и суммарную протяжённость всех тальвегов.
3. Определить площадь территории и вычислить густоту речной, балочной сети и общего горизонтально расчленения по формуле (1.14).
4. Определить максимальную и минимальную высоты территории и величину вертикального расчленения.
5. С помощью палетки определить сумму длин горизонталей.
6. Вычислить по формуле (1.15) величину общего расчленения территории.

Форма представления отчёта:

1. Калька с нанесённой речной и балочной сетью.
2. Результаты вычислений.

Список литературы

Борсук О.А., Спасская И.И. Математические методы в геоморфологии.// Теоретические и общие вопросы географии. М.: ВИНТИ, 1974.

Егоров И.Е. Методическое руководство по практической картометрии и морфометрии. Ижевск: Изд-во Удмуртского ун-та, 1992.

Философов В.П. Методика вычисления и геолого-геоморфологическая интерпретация коэффициента расчленённости рельефа.// Вопросы морфометрии. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1967.

2. СТРУКТУРА ОБЪЕКТОВ

Под структурой подразумевают определённую взаимосвязь, взаиморасположение составных частей, строение, устройство чего-либо. Существует большое разнообразие структур компонентов природы и природных комплексов. Для горных пород структура – это особенности их строения, обусловленные размерами и формой зёрен, для почв – способность распадаться на отдельные агрегаты разной формы и величины. Структура тектоническая – пространственная форма залегания горных пород в земной коре. В отношении природных комплексов выделяют структуры функциональные, временные, вертикальные, латеральные, морфологические.

Изучение структуры объектов и явлений – это, прежде всего, выявление и последующий анализ некоторого количества их элементов с учётом расположения в пространстве, связей, порядка, иерархического соподчинения. При этом элементы всегда рассматриваются как составные части целостного образования. Изучение структуры можно считать начальным этапом системного анализа, поэтому оно часто связывается с выявлением основных, наиболее стабильных, инвариантных элементов и свойств. Цели изучения структуры любого объекта или процесса – это познание её генезиса, внутренней организации, механизма функционирования.

2.1. Показатели однородности (сортированности составных частей) географических объектов

Для оценки однородности (неоднородности) объектов часто рекомендуют использовать удобный и отвечающий основным требованиям свойства однородности коэффициент неопределённости, энтропийную характеристику, выражающуюся формулой Шеннона:

$$H = - \sum p_i \log_2 p_i \quad (2.1)$$

где p_i – доля i -го компонента в совокупности или вероятность появления какого-либо признака в долях единицы.

Максимальная однородность достигается в том случае, если выборка представлена только одним объектом. Например, если при определении неоднородности рельефа территории вся площадь окажется занята высотными отметками в одном и том же интервале значений, то число градаций равно 1, $H = -(1 * \log_2 1)$, территория максимально однородна.

Максимальная неоднородность достигается в случае равенства встречаемости всех объектов совокупности. Так максимальная гипсометрическая неоднородность территории наблюдается в случае равенства площадей, занимаемых различными градациями высот. В этом случае гипсометрическая неоднородность рельефа будет равна логарифму числа выделенных градаций: $H_{max} = \log_2 n$.

Иногда целесообразно пользоваться не энтропийным показателем, вычисленным по формуле (2.1), а величиной относительной энтропии, предложенной Ю.Г. Симоновым:

$$S = 1 - (H_i / H_{max}). \quad (2.2)$$

В географических, особенно ландшафтных исследованиях, для оценки степени сортированности составных частей, сложности набора различных групп природных комплексов, составляющих структуру территории, может быть использован разработанный А.И. Ивашутиной и В.А. Николаевым коэффициент ландшафтной однородности (неоднородности).

Если через S выразить площадь (в %) отдельной генетической группы природных комплексов на данной территории, или какого-либо другого ареала, а через n – количество генетических групп природных комплексов (ареалов), то долю (m) каждой генетической группы (i) можно определить по формуле:

$$m_i = \frac{S_i}{100\%/n}$$

Возможное сочетание пар групп природных комплексов (ареалов) друг с другом определяется как число сочетаний:

$$C_n^2 = \frac{n(n-1)}{2}$$

Используя эти показатели, строится матрица размером $n \times n$ элементов (табл. 2.2). В клетки матрицы вписываются значения возможных сочетаний ($m_i m_j$). Эти сочетания суммируются по строкам или столбцам. Затем определяется общая сумма:

$$T = \sum_{i=1}^{i=n-1} \sum_{j=i+1}^{j=n} m_i m_j.$$

Поскольку в число сочетаний не входят произведения $m_1 m_1$, $m_2 m_2$ и т.д., то заполняется только правый верхний угол таблицы относительно ее диагонали.

Разделив полученную сумму на число сочетаний, получим меру ландшафтной однородности территории – коэффициент ландшафтной однородности $K_{ло}$:

$$K_{ло} = \frac{T}{C_n^2} \quad (2.3)$$

Величина коэффициента находится в пределах $1 \geq K_{ло} \geq 0$. При наибольшем числе генетических групп ландшафтов и равенстве их площадей $K_{ло} = 1$; а при наличии одной группы природных комплексов, занимающей всю территорию, $K_{ло} = 0$.

Рассмотрим последовательность расчетов $K_{ло}$ на примере. На рис. 2.1 показано подразделение территории по генетическим группам природных комплексов (ареалов). Величины m_i табл. 2.1 найдены с помощью предложенной выше формулы $m_i = S_i/10$ (т.к. $n=10$). Далее строим матрицу размером $n \times n$ элементов (табл. 2.2). Число сочетаний $C_n^2 = 45$. Коэффициент $K_{ло}$ для структуры распределения групп природных комплексов, показанных на рис.2.1, определяется в виде отношения:

$$K_{ло} = 43,810/45 = 0,973.$$

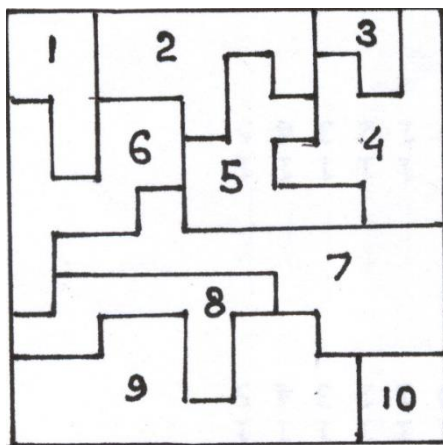


Рис. 2.1. Условная схема распределения генетических групп ландшафтов на площади

Таблица 2.1

Величины площадей (S_i) и доли (m_i) каждой генетической группы природных комплексов

№ группы	$S, \text{ км}^2$	S_i	m_i	№ группы	$S, \text{ км}^2$	S_i	m_i
1	1.50	6	0,600	6	2,75	11	1,100
2	2.50	10	1,000	7	4,25	17	1,700
3	0.75	3	0,300	8	2,25	9	0,900
4	3.00	12	1,200	9	4,75	19	1,900
5	2.25	9	0,900	10	1,10	4	0,400

Таблица 2.2

Определение коэффициента $K_{до}$

$n \times n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ
1	—	0,60	0,18	0,72	0,54	0,66	1,02	0,54	1,14	0,24	5,64
2		—	0,30	1,20	0,90	1,10	1,70	0,90	1,90	0,40	8,40
3			—	0,36	0,27	0,33	0,51	0,27	0,57	1,12	2,43
4				—	1,08	1,32	2,04	1,08	2,28	0,48	8,28
5					—	0,99	1,53	0,81	1,71	0,36	5,40
6						—	1,87	0,99	2,09	0,44	5,39
7							—	1,53	3,23	0,68	5,44
8								—	1,71	0,36	2,07
9									—	0,76	0,76
10										—	
Σ											43,81

Задание: Для каждого из трёх вариантов гипсометрических картосхем, изображённых на рис. 2.2, рассчитать коэффициент неопределённости по формуле Шеннона (2.1), величину относительной энтропии по формуле (2.2) и коэффициент однородности А.И. Ивашутиной – В.А. Николаева (2.3).

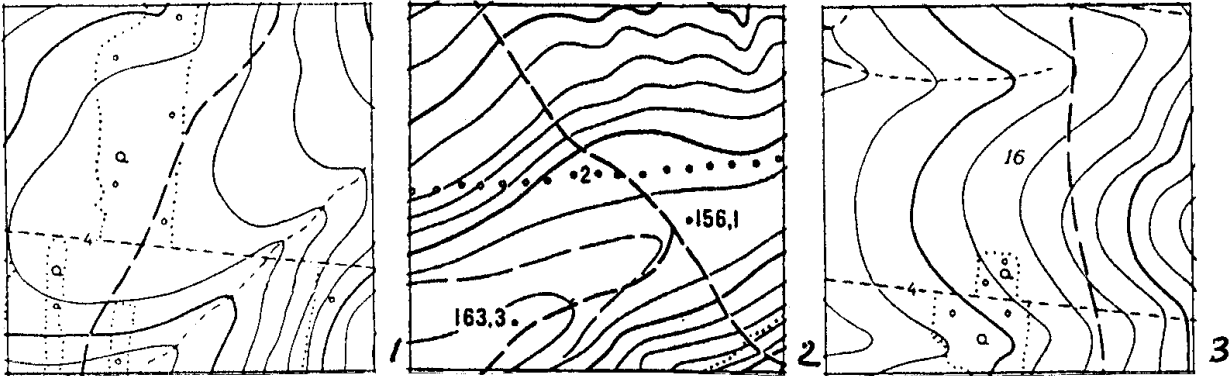


Рис. 2.2. Три варианта гипсометрических картосхем с различным распределением высотных отметок.

Порядок выполнения:

1. Для каждого из вариантов картосхем определить методом взвешивания площади, занимаемые различными гипсометрическими отметками.
2. Вычислить площади, занимаемые отдельными гипсометрическими уровнями, в долях единицы.

3. Используя табл. 2.1 в приложении, определить значения $-p_i \log_2 p_i$, а затем – рассчитать значения коэффициентов неопределённости и относительной энтропии.
4. Вычислить коэффициенты однородности.
5. Проанализировать полученные данные. Сравнить количественные характеристики структуры, вычисленные разными методами.

Форма представления отчёта:

1. Результаты расчётов коэффициентов.
2. Сравнительный анализ полученных данных.

Список литературы

Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. М.: Мысль, 1986.
Математические методы в географии. Казань, Изд-во Казанского ун-та, 1976.
Симонов Ю.Г. Региональный геоморфологический анализ. М., 1972.

2.2. Построение и анализ карт фоновых и остаточных поверхностей

Картографический анализ весьма эффективен при выявлении пространственных закономерностей, повсеместно или локально проявляющихся устойчивых структур. Структура изучаемого явления, а тем более аномалии, не всегда легко распознаются на картах. В этих случаях используются специальные приёмы, чтобы выделить закономерности, скрытые в картографическом изображении.

Выявление главных черт явления и второстепенных деталей, наложенных на основные и проявляющихся на фоне основной структуры, является задачей многих географических исследований. Как правило, при анализе структур таких явлений, их стремятся разложить, отделив основные компоненты или характеристики структур от второстепенных.

Сущность разложения заключается в том, что любое изображённое на карте явление рассматривается как результат воздействия нескольких факторов. Фоновое изображение формируется действием основного фактора, дополнительные факторы усложняют общую закономерность. В результате разложения получают две карты. Первая называется картой фоновой поверхности, вторая – остаточной. Остаточная поверхность представляет собой разность между фактической исходной поверхностью и фоновой. Карту остаточной поверхности называют также картой локальных аномалий.

Разложение картографического изображения на две составляющие можно провести путем графического осреднения. Для этого вся карта покрывается сетью равномерно расположенных точек, например сетью вершин шестиугольников или квадратов. В каждой точке (вершине) определяется значение признака K_i . Затем для каждого многоугольника подсчитываются сумма значений K_i всех вершин и центра фигуры, а также среднее значение признака $K_{i\text{cp}}$, которое и принимается за нормальное для данного участка значение. Вычисленная средняя величина присваивается центру фигуры. Аналогичная операция производится для всех точек сетки. В результате, в каждом центре получается определенное значение признака. По этим значениям строится карта в изолиниях, которая и принимается за фоновую поверхность. Если затем в каждом центре фигуры определить разность фактического и среднего значений признака и провести по ним изолинии, то получится карта соответствующей остаточной поверхности. При таком способе построения характер фоновой и остаточной поверхностей в значительной степени зависит от величины радиуса осреднения (размеров фигуры). Чем больше радиус, тем более общую картину отразит осредненная фоновая поверхность и тем больше будут отклонения от нее остаточной поверхности. Наоборот, чем меньше радиус, тем ближе будет фоновая поверхность к исходной. Обычно при выборе радиуса осреднения руководствуются следующим соотношением: он должен быть

примерно равен половине поперечника тех аномалий, которые желательно выделить на карте остаточной поверхности.

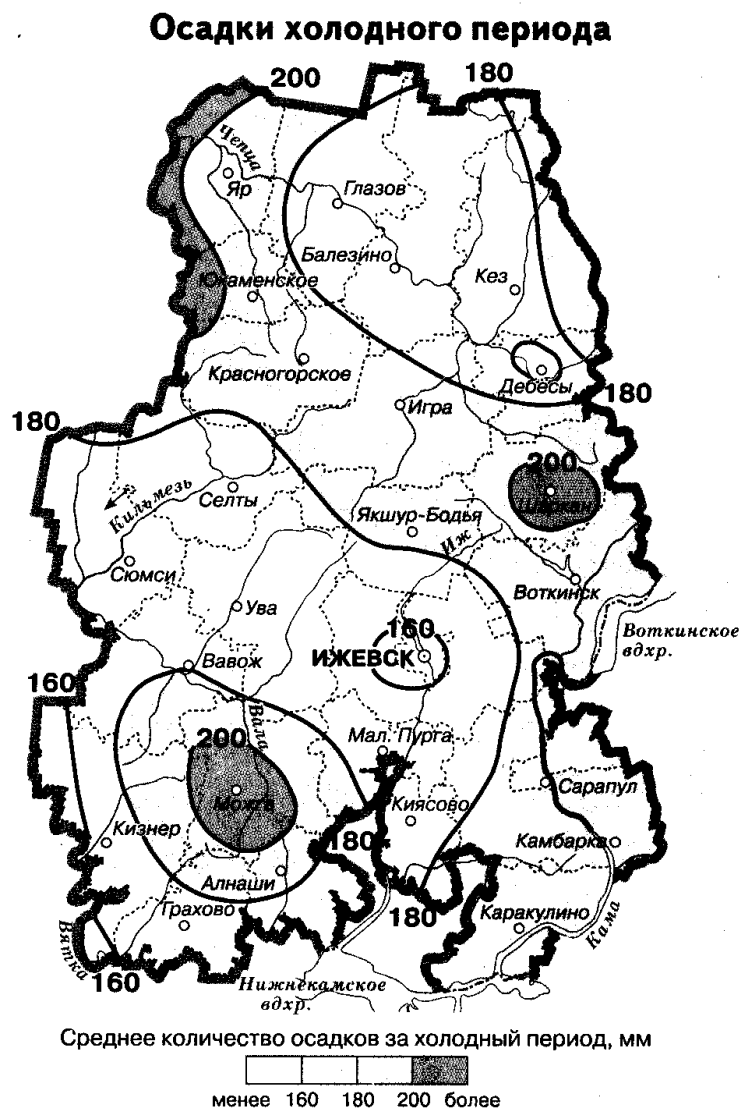


Рис.2.3. Карта осадков холодного периода территории Удмуртии.

Задание: построить и проанализировать карты фоновой и остаточной поверхностей поля атмосферных осадков холодного периода на территории Удмуртии способом графического осреднения.

Порядок выполнения:

1. Выбрать величину осреднения и изготовить соответствующую палетку. Способом интерполяции определить величину атмосферных осадков в вершинах квадратов и их центрах.
2. Рассчитать средние величины атмосферных осадков.
3. По средним значениям построить карту фоновой поверхности.
4. Из фактических величин в точках выборки вычесть средние значения и по полученным данным построить карту остаточной поверхности.
5. Проанализировать характер обеих поверхностей. Определить факторы, их формирующие.

Форма представления отчета:

1. Карты фоновой и остаточной поверхностей осадков холодного периода.
2. Описание характера поверхностей с анализом формирующих их факторов.

Список литературы

Географический атлас Удмуртской республики. М.: ООО Изд-во ДИК, 2010.
Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. М.: Мысль, 1986.
Математические методы в географии. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1976.

2.3. Характеристики соседства природных комплексов

Ландшафтным соседством называется система последовательных сопряжений ландшафтных контуров, образующих ландшафтный рисунок. Здесь на первый план выступают факты контактов ландшафтных контуров, относящихся к различным составляющим рисунка. Ландшафтное соседство формируется под воздействием всего комплекса ландшафтной дифференциации, оно отражает эволюционные отношения различных природных комплексов и их обмен веществом и энергией. Анализ ландшафтного соседства необходим при решении ряда теоретических и практических задач, особенно при выделении физико-географических районов.

Статистические меры территориальной сопряженности видов природных комплексов отражают закономерности их распределения на местности. Они определяют, насколько чаще или реже одни виды соседствуют с другими. Количественный анализ ландшафтного соседства основан на использовании коэффициента сопряженности И. Иверсена:

$$K = \frac{a \cdot 100\%}{(a + b + c)},$$

где a – суммарная длина совместных границ двух видов природных комплексов, b, c – суммы длин совместных границ этих же двух видов природных комплексов с другими видами. Коэффициент может принимать значения от 0 до 100% и показывает, какую долю составляет протяженность совместных границ двух видов ПТК от общей длины их границ со всеми остальными видами.

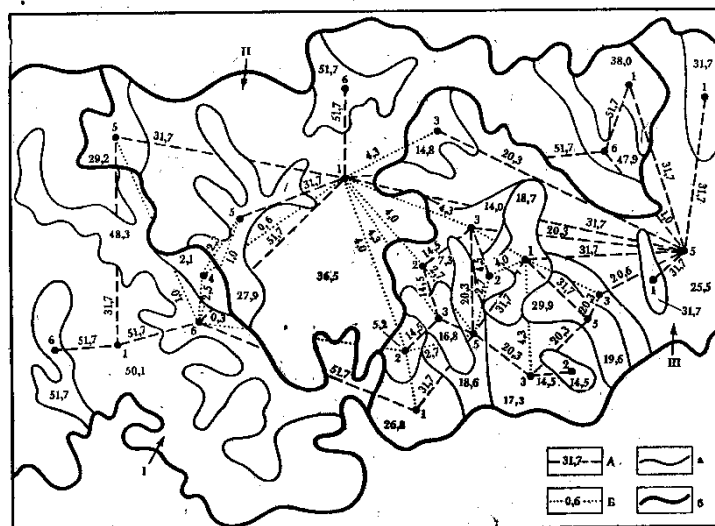


Рис. 2.4. Фрагмент картосхемы ландшафтных сопряжений и физико-географического районирования территории Кызылтасской полупустыни (Центральный Казахстан): номера 1-6 в точках ареалов обозначают виды природных комплексов; пунктирные линии обозначают сопряжения видов ПТК (А- тесные, Б- слабые); цифры у пунктирных линий соответствуют величине коэффициента сопряженности контура в целом; границы:
а- ландшафтов, б- районов (Николаев, 1979)

В качестве примера приведена схема районирования территории Кызылтасской полупустыни (рис. 2.4). Полученные меры сопряженности видов природных комплексов анализировались с помощью матрицы (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Сопряженность ПТК Кызылтасской полупустыни									
Вид ПТК	1	6	5	3	2	4	$\sum K$	$K_{\text{ср}}$ для вида	$K_{\text{ср}}$ в целом
1		<u>51,7</u>	<u>31,7</u>	4,3	4,0	0,6	92,3	18,5	11,3
6	<u>51,7</u>		1,0	-	0,3	2,5	55,5	13,9	
5	<u>31,7</u>	1,0		<u>20,3</u>	2,7	2,3	57,0	11,4	
3	4,3	-	<u>20,3</u>		<u>14,5</u>	-	39,1	13,0	
2	4,0	0,3	2,7	<u>14,5</u>		-	21,5	5,4	
4	0,6	2,5	2,3	-	-		5,4	1,8	

В боковом её столбце и верхней строке указаны номера видов ПТК, а в клетках – коэффициенты их взаимной сопряженности. Матрица симметрична относительно главной диагонали (поэтому при проведении соответствующих работ заполнять можно только одну ее половину). Её дополняют производные показатели сумм и средних значений К. Подчеркнуты те коэффициенты, которые превышают средний показатель.

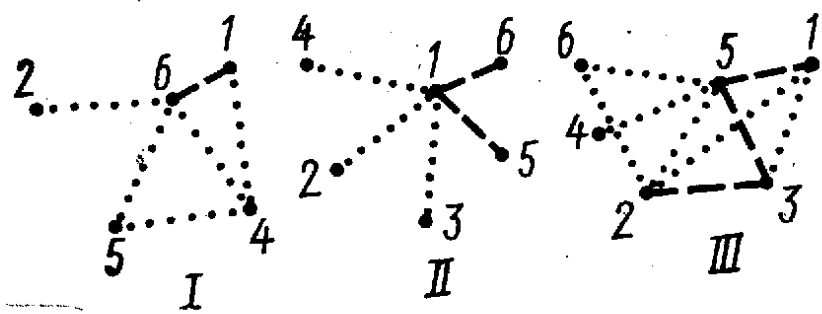


Рис. 2.5. Графики ландшафтных интеграций; 1-6- виды ПТК (к табл. 2.3)

Матрицу можно рассматривать как совокупность векторов сопряженности и представить графически (рис. 2.5). Пунктирными линиями на графиках отмечены наиболее тесные сопряжения, точечными линиями – слабые сопряжения; в центре помещены узловые виды ПТК – ядра связок. Выявленные ландшафтные интеграции рассматриваются как районообразующие, а их графики – как ландшафтно-структурные модели физико-географических районов.

Задание: определить территориальную сопряженность видов природных комплексов.

Исходные данные: схема почвенно-ландшафтной структуры (рис. 2.6).

Порядок выполнения:

1. Составить таблицу по образцу табл. 2.3.
2. Рассчитать коэффициенты сопряженности видов природных комплексов.
3. Определить средние значения К.
4. Составить графы ландшафтных соседств.
5. Провести объединение ареалов в местности с учетом тесноты ландшафтного соседства.

Форма представления отчета: матрица соседства; анализ полученных цифровых данных.

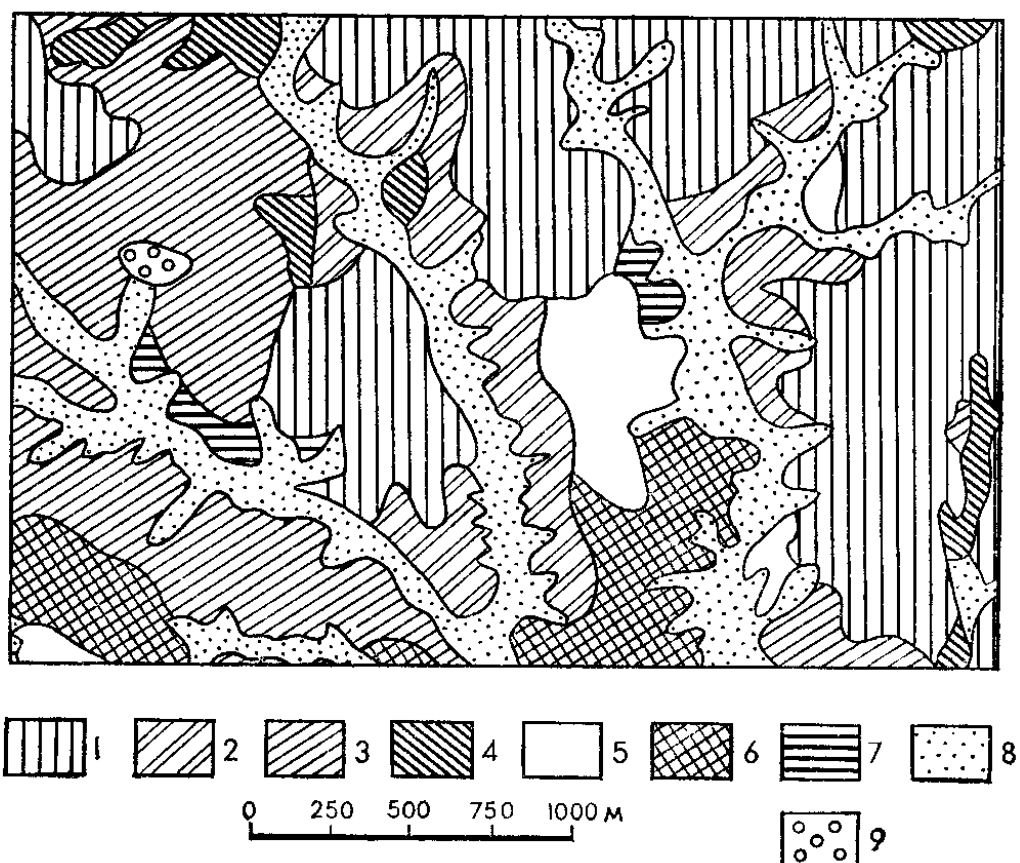


Рис. 2.6. Вариант почвенно-ландшафтной структуры Среднерусской возвышенности (Фридланд, 1984).

Список литературы

Николаев В.А. Проблемы регионального ландшафтоведения М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979.
Фридланд В.М. Структуры почвенного покрова мира. М.: Мысль, 1984.

2.4. Преобразование как способ изучения структуры

Исследование структуры явлений, изображённых на карте, иногда требует трансформирования картографического изображения, перевода его в более удобную в данном конкретном виде анализа форму для извлечения новой информации.

Преобразования картографических изображений могут касаться не только их структуры, но также метрики и способов изображения.

К наиболее распространённым видам преобразований структуры картографических образов относится вычленение. Это такое преобразование, когда выделяется какой-либо один компонент или характеристика картографического образа. В результате вычленения компонент предстаёт в наиболее наглядном и удобном для данного исследования форме. Это позволяет выявить закономерности, которые ранее в явном виде не проявлялись. Примерами таких преобразований являются карты углов наклона, экспозиции склонов, глубины местных базисов эрозии и т.д., которые создаются в результате вычленения именно этих характеристик из топографических карт.

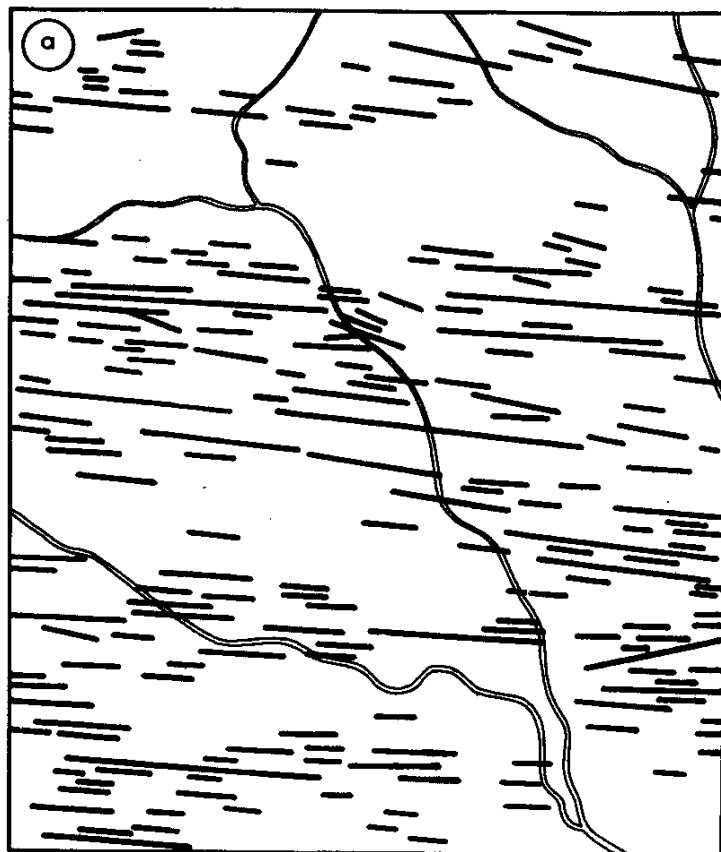


Рис.2.7. Карта тектонической трещиноватости, построенная по космическому снимку (Берлянт, 1986).

Широкое распространение имеют преобразования изображения из качественной формы в количественную и наоборот. Например, карта распространения оврагов трансформируется в карту овражности, карты лесов и пашен – в карты лесистости и распаханности и т.п. При этом, как правило, перевод в количественную форму бывает связан с получением различных морфометрических характеристик. Перевод же количественных показателей в качественные применяется обычно при районировании.

Особое значение при анализе структуры явлений приобретает замена дискретного картографического изображения континуальным, непрерывным. Представление о дискретности и континуальности диалектически едины и отражают разные стороны одного и того же явления. Обычно в дискретной форме изображаются абсолютные показатели, а в непрерывной – относительные. Во втором случае обязательно используется способ изолиний. Изолинейные производные карты называются картами полей.

Преобразование осуществляется путём вычисления плотностей по ячейкам геометрической сетки, квадратам или шестиугольникам. Значения, полученные в каждой ячейке, относятся к её центру, а затем по ним интерполируются изолинии.

Задание А: построить и проанализировать карту поля тектонической трещиноватости на основе карты, изображённой на рис. 2.7.

Порядок выполнения:

1. Изготовить геометрическую сетку (палетку) с ячейкой 2×2 см. Наложить палетку на карту тектонической трещиноватости.
2. Определить суммарную протяжённость тектонических трещин в каждом квадрате и полученную величину проставить в их центрах.
3. По полученным значениям построить карту поля тектонической трещиноватости.
4. Проанализировать характер картографических изображений.

Форма представления отчета:

1. Карты поля тектонической трещиноватости.
2. Сравнительный анализ двух картографических изображений.

Задание Б: на основе карты, изображённой на рис. 1.12 построить и проанализировать карту превышений рельефа над ближайшими тальвегами (местными базисами эрозии) по образцу рис. 2.8.

Порядок выполнения:

1. На кальку перенести тальвеги долин и балок, а также водораздельные линии между ними, которые делят территорию на отдельные элементарные бассейны.
2. От точки замыкания каждой горизонтали по тальвегу эрозионных форм до ближайшего водораздела провести линии наибольшего падения склонов.
3. На каждой линии отметить точки пересечения с горизонталями, затем через точки с одинаковой относительной высотой провести изолинии превышений.
4. Оформить карту превышений способом послойной окраски или штриховки.

Форма представления отчета:

1. Карта превышений рельефа над ближайшими тальвегами (местными базисами эрозии).

Задание В: на основе карты, изображённой на рис. 1.12 построить карту базисной поверхности и остаточных высот по образцу рис. 2.9.

Порядок выполнения:

1. Первоначально строится карта базисной поверхности, то есть такой условной поверхности, которая проходит через тальвеги долинных понижений. Для этого на кальку перенести тальвеги эрозионных форм.

2. Пользуясь абсолютными отметками уреза воды в реках и пересечениями тальвегов горизонталями, провести изобазиты – плавные кривые линии, соединяющие точки с одинаковыми отметками тальвегов (рис. 2.9). Эти линии пересекают водоразделы на более низком уровне, отвечающем положению базисной (цокольной) поверхности. Изобазиты проводятся через тальвеги эрозионных форм, начиная со 2-го или 3-го порядка. Все более мелкие разветвления эрозионной сети не учитываются.

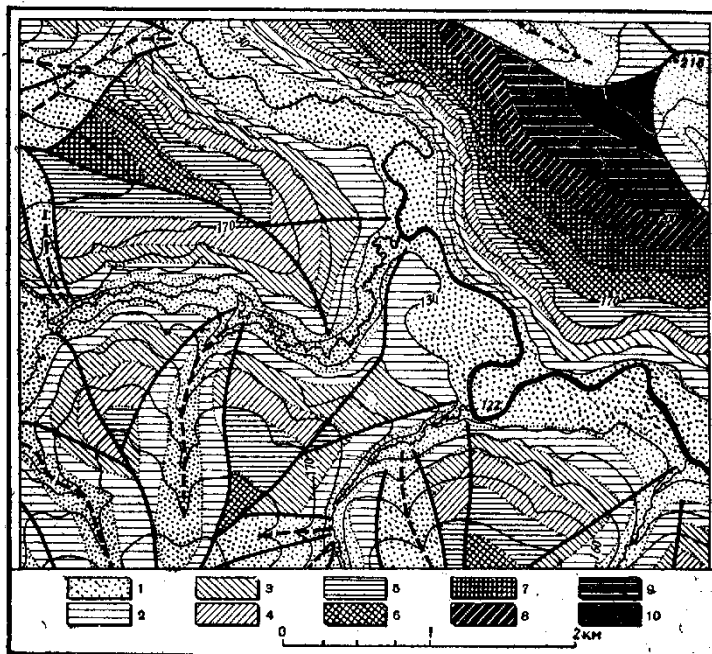


Рис.2.8. Карта превышений рельефа над ближайшими тальвегами (местными базисами эрозии). 1 – от 0 до 10; 2 – от 10 до 20; 3 – от 20 до 30; 4 – от 30 до 40; 5 – от 40 до 50; 6 – от 50 до 60; 7 – от 60 до 70; 8 – от 70 до 80; 9 – от 80 до 90; 10 – от 90 до 100. Сплошные жирные линии – линии водоразделов, пунктирные – линии тальвегов. (Спиридонов, 1970)

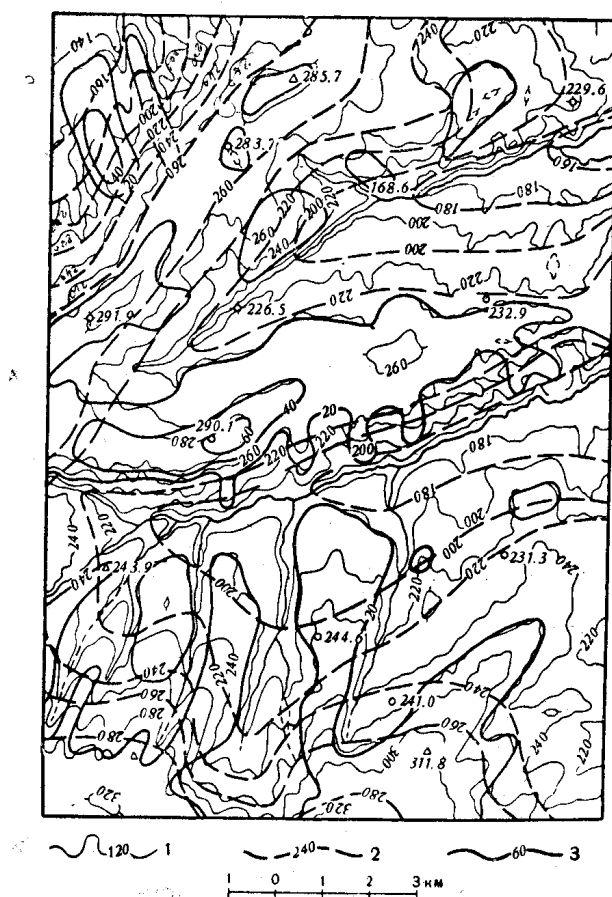


Рис.2.9. Карта базисной поверхности и остаточных высот. 1 – горизонталы; 2- изобазиты; 3- изолинии остаточных высот. (Спиридонов, 1970)

3. В точках пересечения горизонталей фактического рельефа и изобазит определить разницу между ними. Разность высот соответствует относительной высоте современного рельефа, или остаточной высоте.

4. Провести систему изолиний, соединяющих точки с одинаковыми остаточными высотами (по образцу на рис. 2.9).

Форма представления отчета:

1. Карта базисной поверхности и остаточных высот.

Задание Г: на основе карты, изображённой на рис. 1.12 построить и проанализировать карту вершинной поверхности и величины сноса по образцу рис.2.10.

Порядок выполнения:

1. На кальку перенести водораздельные линии 1-го, 2-го и последующих порядков.

2. Отметить точки пересечения водоразделов горизонталями, подписать значения высот.

3. Через точки с одинаковой высотой провести изолинии вершинной поверхности. Эти изолинии являются обобщёнными горизонталями, полученными путём исключения эрозионных понижений.

4. Вычесть значения высот топографической поверхности из высот вершинной поверхности в точках пересечения соответствующих горизонталей.

5. По полученным величинам провести изолинии величины сноса или глубины расчленения рельефа.

6. Оформить карту вершинной поверхности и величины сноса по образцу карты на рис.2.10.

Форма представления отчета:

1. Карта вершинной поверхности и величины сноса.

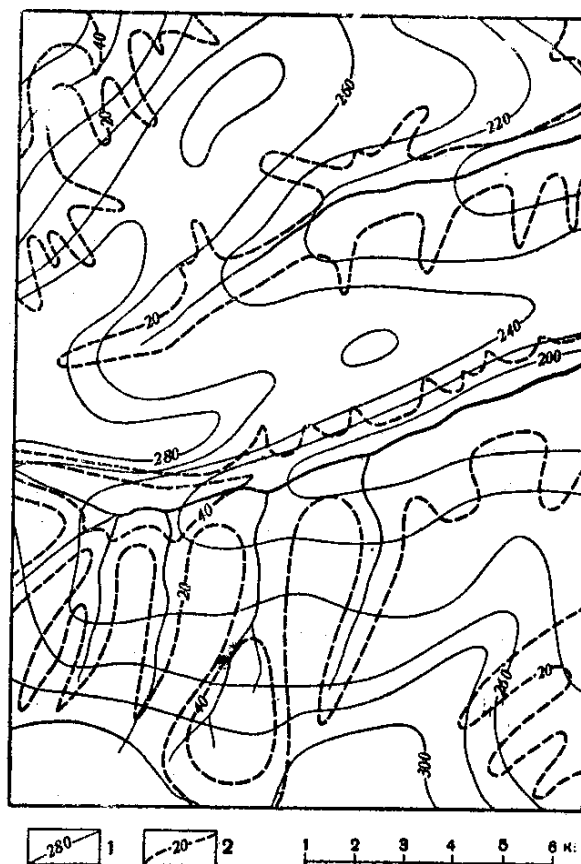


Рис.2.10. Карта вершинной поверхности и величины сноса. 1 – изогипсы вершинной поверхности; 2 – изолинии величины сноса. (Спиридонов, 1970)

Список литературы

- Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. М.: Мысль, 1986.
Математические методы в географии. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1976.
Спиридонов А.И. Основы общей методики полевых геоморфологических исследований и геоморфологического картирования. М.: Высшая школа, 1970.

3. ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ И ДИНАМИКИ ЯВЛЕНИЙ

Связь между двумя или большим количеством явлений, показанных на карте, может быть установлена с использованием различных, главным образом математических, приёмов. Математические приёмы – хорошо освоенный и часто применяемый раздел картографического метода. Причина широкой их применимости связана со сравнительной простотой математического аппарата и тем, что он наилучшим образом приспособлен для изучения распределения, выявления связей и ведущих факторов размещения явлений, изображённых на картах.

Применительно к картам математическая обработка преследует в основном следующие цели:

- выявление статистических показателей и законов распределения явлений;
- анализ формы и тесноты связей между различными явлениями;
- оценка степени влияния отдельных факторов на данное явление и установление основных факторов его размещения и развития.

Основой всех расчётов и оценок является выборка, некоторое количество однородных величин, снятых с карты.

3.1. Вычисление тесноты связи между явлениями, изображёнными на карте, с помощью коэффициента парной корреляции

Для установления тесноты связи между явлениями чаще всего используется корреляционный анализ. Более других используется коэффициент парной корреляции (r), устанавливающий связь между двумя явлениями в том случае, если она близка к прямолинейной. Значения r заключены в интервале от +1 до -1. Подобные крайние значения соответствуют полной, или функциональной, зависимости. При положительном знаке r связь прямая, при отрицательном – обратная. Значения r близкие к нулю свидетельствуют об отсутствии связи между явлениями. При r больше или равно $|0,7|$ связь считается существенной.

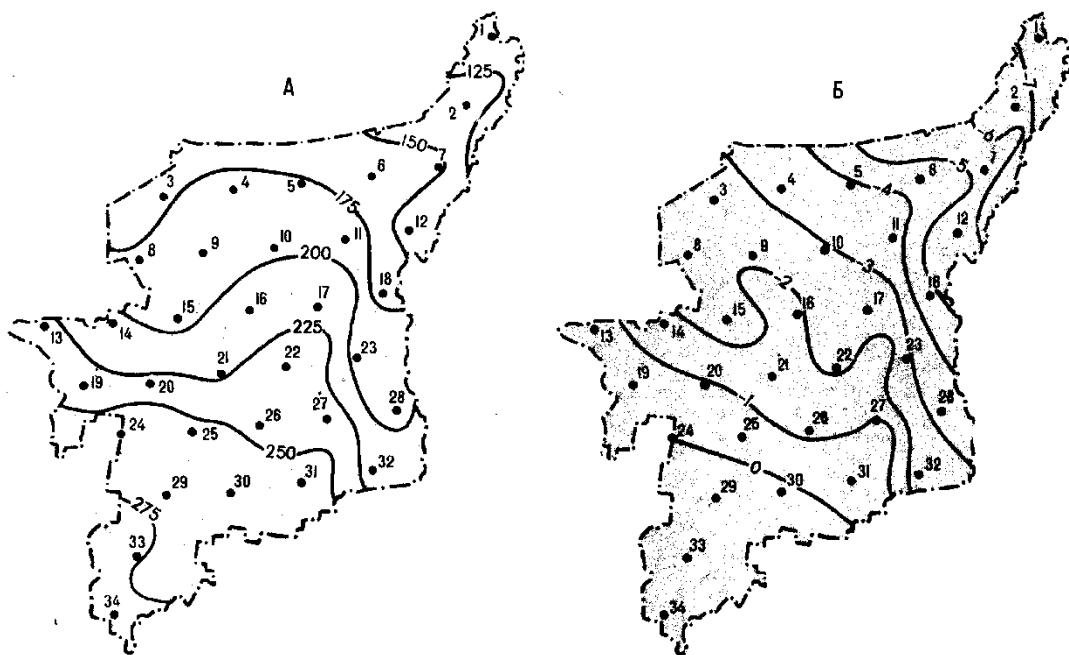


Рис.3.1. А – карта испарения влаги, мм/год, Б – карта средней годовой температуры воздуха, град., для республики Коми.

Для расчёта коэффициента корреляции с двух сравниваемых карт снимают две выборки по строго одинаковым координатам сетки точек. Затем, прежде чем приступить к вычислениям, рекомендуется строить график корреляции, откладывая по одной оси значения признаков, снятых с первой карты, а по другой оси – со второй. По характеру расположения точек можно уже судить о форме и тесноте связи. Если точки разбросаны бессистемно, по большой площади, то это означает, что связь между явлениями либо отсутствует или очень слабая. Если же поле точек вытягивается в виде полосы – связь существует, и чем уже полоса, тем связь сильнее. Расположение точек строго на одной линии будет означать наличие функциональной связи.

Коэффициент корреляции можно вычислять только в тех случаях, когда поле точек более или менее прямолинейно. При явной криволинейности поля точек, необходимо использовать другие коэффициенты.

Значение коэффициента корреляции r рассчитывается по формуле:

$$r = \frac{\sum (x_i - x_{cp})(y_i - y_{cp})}{\sqrt{\sum (x_i - x_{cp})^2} \cdot \sqrt{\sum (y_i - y_{cp})^2}} \quad (3.1)$$

где x_i и y_i – фактические значения признаков, снятых с первой и второй карт, x_{cp} и y_{cp} – их среднеарифметические величины.

Наряду с параметрическими показателями для измерения корреляционной зависимости между признаками иногда применяют и непараметрические показатели. Одним из них является коэффициент корреляции, предложенный Г. Фехнером:

$$R = \frac{(C - H)}{(C + H)} \quad (3.2)$$

Этот показатель основан на учете знаков отклонений вариант от их средних арифметических. Здесь C – число совпадений одинаковых, как положительных, так и отрицательных, знаков разностей $(x - x_{cp})$ и $(y - y_{cp})$, а H – число несовпадающих знаков.

Как и обычный коэффициент корреляции, коэффициент корреляции Фехнера может принимать значения от -1 до +1. При положительной корреляции он имеет положительный, а при отрицательной – отрицательный знак.

Применяя коэффициент корреляции Фехнера, следует иметь в виду, что по сравнению с параметрическими показателями непараметрические являются приближенными оценками связи. Поэтому вычисление последних следует ограничивать сотыми долями единицы.

Пример вычисления коэффициента Фехнера можно показать на данных, приведённых в таблице 3.1. Допустим, имеется некоторая выборка признаков А и Б, определены их средние значения. Знаками плюс и минус отмечены случаи, когда фактическое значение либо меньше, либо больше среднего. Нетрудно посчитать, что в 10 случаях из 12 знаки совпадают (C), а в двух – не совпадают (H). Подставив значения C и H в формулу, получаем $R = 0.67$.

В теории корреляции разработаны и другие показатели, позволяющие устанавливать связь между явлениями при наличии криволинейной зависимости или для случаев, когда явления на картах не имеют количественных характеристик.

Кроме коэффициентов парной корреляции часто обращаются к коэффициентам, позволяющим выявить соотношения между тремя явлениями. Бывает важно выявить, не обусловлена ли связь между явлениями А и Б воздействием третьего, явления В. В этом случае используют частный коэффициент корреляции, который устанавливает связь между двумя явлениями при исключении третьего:

$$R_{аб/в} = \frac{(r_{аб} - r_{ав}r_{бв})}{\sqrt{(1 - r_{ав}^2)(1 - r_{бв}^2)}}, \quad (3.3)$$

где r – коэффициенты парной корреляции между явлениями, обозначенными в подстрочных индексах.

Таблица 3.1

Пример вычисления коэффициента корреляции Фехнера

Номер наблюдений	Признак А	Признак Б	Отклонение от средних, А	Отклонение от средних, Б
1	3,10	3,65	-	+
2	3,17	3,11	-	-
3	3,76	3,57	+	-
4	3,61	3,61	+	+
5	3,27	3,44	-	-
6	3,61	3,71	+	+
7	3,80	3,61	+	+
8	3,65	3,98	+	+
9	3,34	3,36	-	-
10	3,65	3,89	+	+
11	3,45	3,45	-	-
12	4,05	3,79	+	+
Сумма	42,46	43,17		
Среднее	3,54	3,60		

Допустим, в качестве примера, что А – величина стока с поверхности, Б – глубина расчленения рельефа, В – устойчивость пород к размыву. Парные коэффициенты корреляции имеют значения: $r_{аб} = 0,4$, $r_{ав} = 0,3$, $r_{бв} = -0,6$.

Величина коэффициента корреляции между А и Б говорит о слабой связи между стоком и расчленением рельефа. Однако при исключении влияния литологии коэффициент становится высоким $r = 0,76$.

Для установления совместной корреляции трёх факторов, их совокупного влияния, пользуются коэффициентом множественной корреляции:

$$R_{abc} = \frac{\sqrt{(r_{ab}^2 + r_{ac}^2 - 2r_{ab}r_{ac}r_{bc})}}{\sqrt{(1 - r_{bc}^2)}} \tag{3.4}$$

Задание: рассчитать коэффициент парной корреляции для двух показателей, изображённых на картах (рис. 3.1).

Порядок выполнения:

1. Определить по картам рис. 3.1 значения признаков А и Б в указанных точках и занести их в таблицу.
2. На миллиметровой бумаге построить поле корреляции полученных значений, откладывая по оси Х величины, снятые с карты Б, по оси Y – с карты А.
3. Определить средние значения признаков.
4. Вычислить разницу между фактическими и средними значениями.
5. Вычислить квадраты разницы значений.
6. Данные подсчётов занести в таблицу.
7. Вычислить коэффициент парной корреляции между показателями А и Б.
8. Вычислить коэффициент корреляции Фехнера. Сравнить значения полученных коэффициентов.

Форма представления отчёта:

График поля корреляции признаков. Таблица полученных с карт данных и значения коэффициентов.

Список литературы

Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. М.:Мысль, 1986.
Математические методы в географии. Казань. Изд-во Казанского ун-та, 1976.

3.2. Построение карты изокоррелят

Теснота связи между двумя явлениями, показанными на карте изолиниями, может быть найдена весьма простым, но при этом достаточно точным, методом. При совпадении изолиний двух явлений связь будет абсолютной, то есть коэффициент корреляции $r = 1$, если же изолинии пересекают друг друга под прямым углом, связь полностью отсутствует и $r = 0$. Иначе говоря, теснота связи между двумя явлениями, изображёнными на карте с помощью изолиний, может быть охарактеризована углом, под которым изолинии пересекают друг друга. Функции, изменяющейся от 1 ($\alpha = 0^\circ$) до 0 ($\alpha = 90^\circ$), соответствует косинус угла. В результате получаем, что в каждой точке карты коэффициент корреляции определяется углом пересечения изолиний:

$$r = \cos \alpha \quad (3.5)$$

где при углах от $0 - 90^\circ$ - связь положительна, при $90 - 180^\circ$ - отрицательна. Коэффициент корреляции показывает тесноту связи между двумя явлениями именно в данной точке (точечное значение) (рис. 3.2, А).

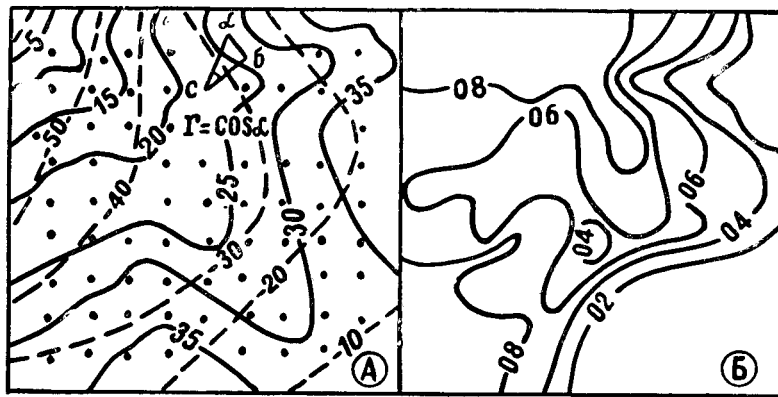


Рис. 3.2. Определение тесноты связи между двумя показателями (А) и картосхема изокоррелят (Б) на эту же территорию.

Подобная методика определения коэффициента корреляции позволяет установить (при большом числе точек) вариации тесноты связи между двумя явлениями в пространстве. В этом случае используют особый способ графического изображения пространственного распределения величин коэффициентов корреляции между двумя величинами – к построению карты изокоррелят (рис. 3.2, Б). Это карты, на которых изображены изолинии, соединяющие точки с одинаковыми значениями коэффициента корреляции.

Задание: построить карту изокоррелят для двух показателей, изображённых на картах в Географическом атласе Удмуртии (А – сумма положительных температур, Б – среднегодовая продолжительность солнечного сияния, стр.14 и 15 Атласа).

Порядок выполнения:

1. Перенести на кальку с карт изолинии суммы положительных температур и продолжительности солнечного сияния.
2. Нанести на кальку серию точек, аналогично рис.3.2 А. Расстояние между точками 1,5 см.
3. Определить и проставить коэффициент корреляции по формуле (3.5) в каждой точке.
4. Построить карту изокоррелят по полученным в точках значениям.
5. Проанализировать полученное изображение характера связи признаков, используя карты Атласа.

Форма представления отчёта:

Карта изокоррелят. Краткий анализ полученных данных.

Список литературы

Географический атлас Удмуртской республики. М.: Изд-во ДИК, 2010.

Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. М.:Мысль, 1986.

Математические методы в географии. Казань. Изд-во Казанского ун-та, 1976.

3.3. Использование рангового коэффициента корреляции

Рассмотренные выше способы вычисления корреляций относятся к случаям, когда с карт можно получить достаточно большие выборки. Это оказывается возможным не всегда. При необходимости сопоставлять картограммы, получить большую выборку бывает трудно. В этом случае используют ранговый коэффициент корреляции (рис. 3.3).

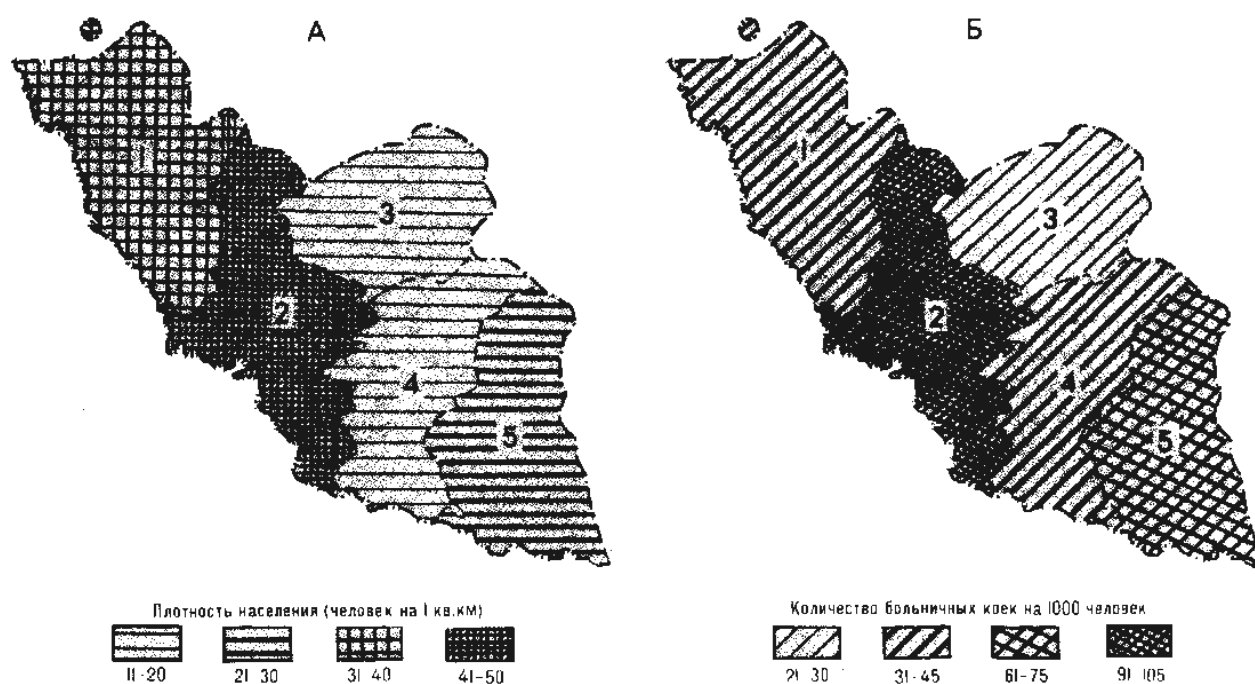


Рис.3.3. Вычисление рангового коэффициента корреляции по картам Нахичеванской республики. А – плотность населения, Б – количество больничных коек на 1000 человек. (Берлянт, 1986).

Его вычисление не требует получения как точных количественных значений, так и больших выборок. Для вычисления рангового коэффициента достаточно иметь не менее трёх пар значений и знать ранг каждого, то есть его место в последовательности. Если какой-либо район имеет наивысшее значение по изучаемому показателю, то ему присваивается 1-й ранг (1-е место), следующему по значимости району – 2-й ранг и т.д. Если два района имеют одинаковые показатели, например, делят 3 и 4 места, то им придаётся среднее значение по сумме рангов – 3,5. Ранговый коэффициент корреляции вычисляется по формуле:

$$r = 1 - \frac{6 \sum (p_a - p_b)^2}{(n^3 - n)} \quad (3.6)$$

где p_a и p_b – ранги явлений А и Б, n – объём выборки. Для двух картограмм, изображённых на рис.3.2, алгоритм вычислений будет следующий. Сначала заполняем таблицу значений признаков (табл. 3.1):

Таблица 3.2

Значения признаков для расчёта рангового коэффициента корреляции
по картам на рис.3.3

Номер района	1	2	3	4	5
Плотность населения (А)	31-40	41-50	11-20	11-20	21-30
Число больничных коек (Б)	31-45	91-105	21-30	31-45	61-75
Ранг А (p_a)	2	1	4,5	4,5	3
Ранг Б (p_b)	3,5	1	5	3,5	2
Разность рангов	1,5	0	0,5	1,0	1,0
$(p_a - p_b)^2$	2,25	0	0,25	1,0	1,0

Сумма квадратов разницы рангов (нижняя строка таблицы) равна 4,5. Далее, выполняя расчёты по формуле (3.4), получаем:

$$r = 1 - \frac{6 \cdot 4,50}{(125-5)} = +0,8.$$

Ранговый коэффициент корреляции, как и обычный, изменяется в интервале от +1 до -1. Приведённое в примере значение коэффициента свидетельствует о высокой положительной связи между явлениями.

Задание А: рассчитать ранговый коэффициент корреляции между порядком реки и относительной скоростью размыва (табл. 3.3). Построить график зависимости относительной скорости размыва от порядка реки.

Таблица 3.3

Порядок реки и относительная скорость размыва

Река	Порядок реки	Относительная скорость размыва, %	Река	Порядок реки	Относительная скорость размыва, %
Лоза, ст. Кушья	7,8	1,8	Вятка, с. Кр.Слудка	15	1,0
Лоза, д. Сундур	8,2	1,2	Лёкма, д. Ниж.Укан	8,6	1,0
Лоза, ст. Лоза	8,8	1,8	Сада, д. Юр	4,6	2,0
Ита, с. Зура	8,8	1,8	Лема, д. Шамардан	6,7	0,4
Чепца, с. Дебёсы	8,7	1,3	Лёкма, д. Починки	7,4	1,0
Чепца, д. Варни	8,7	1,5	Кильмезь, п. Гол.Язок	8,7	2,3
Лып, д. Сосн.Бор	8,5	1,5	Арлеть, д. Чиб	6,0	3,0
Чепца, д. Заделье	11,4	3,0	Лумпун, п. Пристань	6,8	1,7
Чепца, д. Кожило	11,6	1,0	Ува, д. Ува-Тукля	8,1	2,2
Варыж, д. Кельдыково	7,4	3,8	Вала, д. Макарово	9,3	1,7
Сепыч, г. Глазов	7,9	2,0	Позимь, ст. Позимь	8,6	1,8

Убыть, д. Чура	8,1	1,0	Позимь, д. Кабаниха	8,5	2,4
Убыть, д. Палагай	7,3	1,2	Иж, д. Бол.Венья	9,6	1,5
Чепца, пос. Яр	12,3	1,0	Лудзинка, с. Юськи	5,1	3,0
Чепца, д. Дизьмино	12,3	1,5	Иж, д. Шаршада	10,6	1,0

Порядок выполнения:

1. Определить по данным таблицы 3.3 значения рангов водосборов и скорости размыва.
2. Полученные данные занести в таблицу, аналогичную табл. 3.2.
3. Произвести необходимые подсчёты разницы рангов и квадратов разницы рангов.
4. Рассчитать ранговый коэффициент корреляции.
5. Построить график зависимости относительной скорости размыва от порядка реки

Форма представления отчёта:

Таблица данных и значение коэффициента. Краткий анализ полученных результатов

Задание Б: рассчитать ранговый коэффициент корреляции между плотностью сельского населения и объёмом бытовых услуг в сельских районах для территории Удмуртии (карты на стр. 29 и 39 в Географическом атласе Удмуртской республики).

Порядок выполнения:

1. Определить по картам атласа значения рангов районов по указанным показателям.
2. Полученные данные занести в таблицу, аналогичную табл. 3.2.
3. Произвести необходимые подсчёты разницы рангов и квадратов разницы рангов, полученные значения занести в таблицу.
4. Рассчитать ранговый коэффициент корреляции.

Форма представления отчёта:

Таблица данных и значение коэффициента. Краткий анализ полученных результатов

Список литературы

Географический атлас Удмуртской республики. М.: Изд-во ДИК, 2010.
Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. М.:Мысль, 1986.
Математические методы в географии. Казань. Изд-во Казанского ун-та, 1976.
Рысин И.И., Петухова Л.Н. Русловые процессы на реках Удмуртии. Ижевск: Ассоциация «Научная книга», 2006.

3.4. Использование приёмов теории информации

Как известно, все компоненты природы взаимообусловлены и взаимосвязаны. В природных комплексах взаимосвязь проявляется прежде всего через характерную совместную встречаемость, соответствии некоторых свойств компонентов друг другу. Если между признаками А и В имеется связь, то через признак А можно получить информацию о признаке В, и наоборот. Соответственно, если между двумя признаками существует связь, то контуры их ареалов должны в значительной степени совпадать. Для изучения взаимного соответствия контуров признаков используют известные формулы энтропийной оценки показателей:

$$H = - \sum p_i \log_2 p_i \quad (3.7)$$

где p_i – вероятность данного состояния признака.

Предположим, что признаки А и В состоят из m контуров (ареалов). Доли встречаемости их обозначим через p_i и p_j соответственно. Если признаки независимы, то учитывая совместную энтропию, равную сумме индивидуальных, можно записать:

$$H(A + B) = H(A) + H(B).$$

Если признаки зависимы, то

$$H(AB) = - \sum p_{ij} \log_2 p_{ij}$$

Из теории информации известно, что $H(A + B) \geq H(AB)$. При перекрытии ряда контуров количество контуров совмещенного изображения будет меньше, чем если их рассматривать по отдельности. Поэтому, чем больше совпадение контуров, тем больше взаимное соответствие явлений:

$$H(A + B) - H(AB) = T(AB).$$

Величина коэффициента взаимного соответствия вычисляется по формуле:

$$K(AB) = \frac{T(AB)}{H(AB)} * 100\%$$

Задание:

а) определить величину коэффициента взаимного соответствия территориального распределения состава отложений и генетических форм рельефа (рис. 3.4).

Порядок выполнения:

Алгоритм вычисления показан на примере выборки признаков А и В табл. 3.4.

1. Определить вероятности совместной встречаемости состояний признаков $p(A_i, B_j)$, вероятность состояний классов $p(A_i)$ и $p(B_j)$. Для этого по выборке признаков А и В (табл.3.4) строится таблица, в клетках которой проставляется частота наблюдаемых сочетаний A_i и B_j (табл.3.5, верхние левые углы клеток).

Если признаки носят качественный характер, порядок работы остается прежним. Отличие заключается лишь в том, что состояния признака могут располагаться в таблице в произвольном порядке. Вероятность состояний определяется в долях единицы от общего числа выборочных величин (в данном случае $n=10$) и записывается в правых верхних углах клеток таблицы (табл.3.4). Для получения выборки с картосхем использовать палетку.

Таблица 3.4

Выборка признаков А и В

А	4	5	8	7	5	14	7	5	12	4
В	6	4	11	8	13	16	10	7	16	8

Таблица 3.5

Расчет величины неопределенности (по данным табл. 3.4)

	A ₁ (4-6)	A ₂ (7-9)	A ₃ (10-13)	A ₄ (14-15)	p(B _i)	H(B _i)
B ₁ (4-6)	2 0,20 0,46				2 0,20	0,46
B ₂ (7-9)	2 0,20 0,46	1 0,10 0,33			3 0,30	0,52
B ₃ (10-13)	1 0,10 0,33	2 0,20 0,46			3 0,30	0,52
B ₄ (14-16)			1 0,10 0,33	1 0,10 0,33	2 0,20	0,46
P(A _i)	5 0,50	3 0,30	1 0,10	1 0,10		
H(A _i)	0,50	0,52	0,33	0,33		

2. Рассчитать неопределенность наблюдаемых сочетаний A_i и B_j по формуле (3.7) и записать полученные данные в табл. 3.5 (нижняя часть клеток таблицы). Для рассматриваемого примера величина $H(AB)$ равна:

$$H(AB) = 0,46 + 0,46 + 0,33 + 0,33 + 0,46 + 0,33 + 0,33 = 2,70.$$

3. Рассчитать неопределенность признака А (нижняя строка таблицы):

$$H(A) = 0,50 + 0,52 + 0,33 + 0,33 = 1,68.$$

4. Рассчитать неопределенность признака В (крайний правый столбец таблицы):

$$H(B) = 0,46 + 0,52 + 0,52 + 0,46 = 1,96.$$

5. Определить величину информации, передаваемой в двухкомпонентной системе $T(AB) = H(A) + H(B) - H(AB)$:

$$T(AB) = 1,68 + 1,96 - 2,70 = 0,94.$$

6. Определить величину коэффициента взаимного соответствия:

$$K(AB) = T(AB)/H(AB) = 0,94/2,70 = 0,35, \text{ или } 35\%.$$

При равномерном распределении вероятностей по клеткам таблицы величина $K(AB)$ уменьшается. Напротив, если каждому состоянию одного признака соответствует лишь одно состояние другого, величина $K(AB)$ максимальна и равна 1.

7. Дать анализ степени территориального соответствия признаков.

Примечание. Таблица величин $-p_i \log_2 p_i$ дана в приложении.

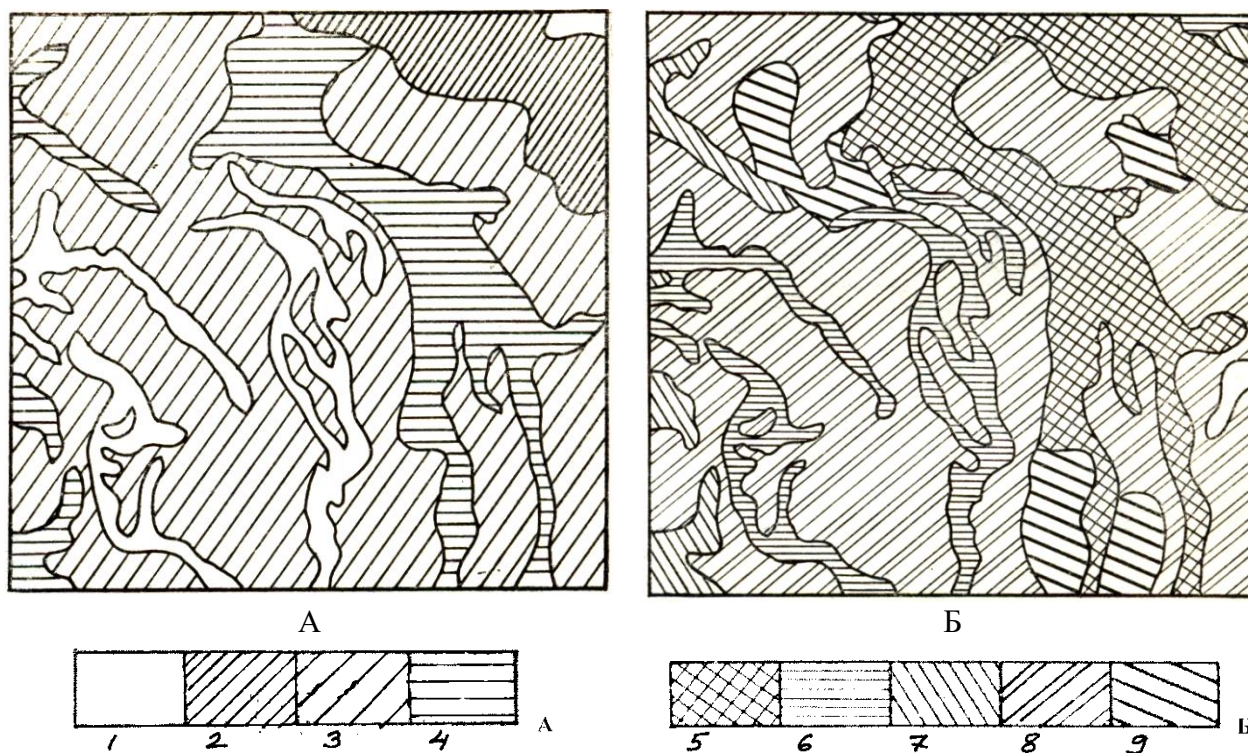


Рис.3.4. Структура почвенного покрова и рельефа.

А - рельеф: 1 - староречье; 2 - затапливаемая равнина; 3 - длительно затапливаемая равнина; 4 - повышенные участки местности; Б - почвы: 5 - достаточно-аллювиальные высокогумусные; 6 - луговые; 7 - аллювиальные малогумусные; 8,9 - луговые малогумусные и луговые малогумусные слитые.

Форма представления отчета:

1. Таблица расчета величин $H(AB)$, $H(A)$, $H(B)$.
2. Рассчитанные величины $T(AB)$ и $K(AB)$.
3. Анализ степени территориального соответствия признаков.

Список литературы

Математические методы в географии. Казань.: Изд-во Казан. ун-та, 1976.
Боков В.А. Практические работы по ландшафтоведению. Ижевск, 1980.
Фридланд В.М. Структуры почвенного покрова мира. М.: Мысль, 1984.

3.5. Выделение и сглаживание временных рядов

Большинство данных, получаемых в физической географии, относятся к некоторым дискретным моментам времени. Перечень значений переменной, отнесённой к ним, представляет собой временной ряд. Временной интервал желательно выбирать постоянным – сутки, декада, год и т.п. Основными задачами изучения временных рядов являются выявление характеристик периодических и непериодических колебаний и экстраполяция поведения ряда (прогноз).

Типичный для географических процессов ряд показан на рис.3.5, характеризующий особенности изменения площади одного из ледников северного Тянь-Шаня за 24 года.

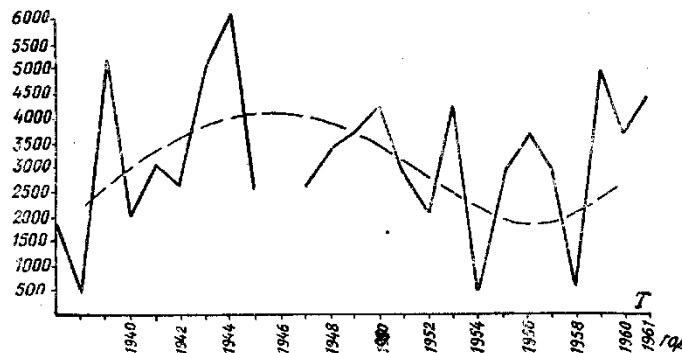


Рис.3.5. Временной ряд, характеризующий изменение площади ледника и осреднение его с помощью результирующей кривой (пунктирная линия).

Статистический анализ рядов сводится к выделению разнородных элементов. В связи с этим материал делится на части, что позволяет изучать регулярные циклы временных рядов, а затем – нерегулярные. Возможность анализировать временной ряд появляется после фильтрации высоких и низких частот путём использования приёмов сглаживания.

Способ скользящей средней применяется в тех случаях, когда не нужна особая точность и когда имеется достаточно длинный ряд, чтобы можно было бы пренебречь двумя крайними значениями аргумента. Смысл способа заключается в том, что для каждого аргумента берётся средняя арифметическая из нескольких соседних значений функции.

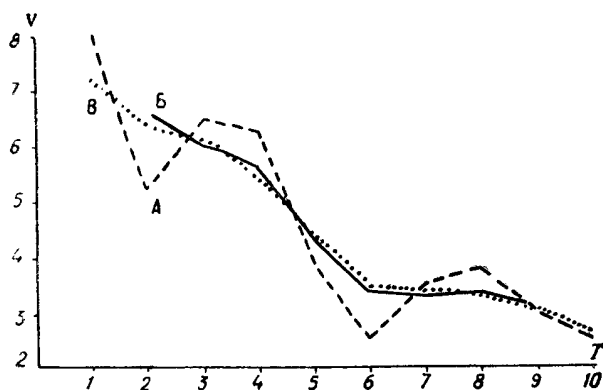


Рис.3.6. Результаты выравнивания эмпирического ряда (А) способом скользящей средней (Б) и способом взвешенной скользящей средней.

Выравнивание производится по формуле:

$$B_{n-1} = \frac{A_n + A_{n+1} + A_{n+2}}{3} \quad (3.8)$$

Если пройти весь ряд с помощью формулы (3.8), то очевидно, что выпадают два крайних значения. Выравнивание эмпирического ряда (А) с способом скользящей средней показано на рис. 3.6, Б.

Способ взвешенной скользящей средней является по сравнению с предыдущим более точным и не теряет крайние значения. Для этих целей с обоих концов ряда добавляются по два значения:

$$B_{+1} = \frac{2A_1 + A_2 - A_4}{2}; B_{+2} = \frac{2A_{+1} + A_1 - A_3}{2} \quad (3.9)$$

Расчёты выровненных значений производятся по формуле:

$$B_n = (A_{n-2} + 2A_{n-1} + 4A_n + 2A_{n+1} + A_{n+2})/10 \quad (3.10)$$

Способом взвешенной скользящей средней получена выровненная кривая эмпирического ряда на рис. 3.6, В.

Таблица 3.6

Средние величины прироста деревьев (в см) по десятилетиям. Центральный Кавказ, сосны долины р. Большой Азау

Годы	Прирост	Годы	Прирост	Годы	Прирост
1960-1967	1,37	1840-1849	1,00	1720-1729	1,05
1950-1959	1,35	1830-1839	0,96	1710-1719	0,95
1940-1949	1,50	1820-1829	0,86	1700-1709	1,30
1930-1939	1,70	1810-1819	0,80	1690-1699	1,10
1920-1929	1,65	1800-1809	0,89	1680-1689	1,00
1910-1919	1,52	1790-1799	0,93	1670-1679	0,30
1900-1909	1,58	1780-1789	1,02	1660-1669	0,30
1890-1899	1,55	1770-1779	1,70	1650-1659	0,30
1880-1889	1,70	1760-1769	1,65	1640-1649	0,30
1870-1879	1,73	1750-1759	1,02	1630-1639	0,60
1860-1869	1,58	1740-1749	0,90		
1850-1859	1,20	1730-1739	0,95		

Задание: Построить график изменения величины прироста деревьев по данным, приведённым в табл.3.6 и произвести выравнивание ряда способом скользящей средней и способом взвешенной скользящей средней, пользуясь при расчётах формулами (3.8, 3.9, 3.10)

Порядок выполнения:

1. На миллиметровой бумаге построить график изменения величины прироста деревьев, указанные в таблице данные отнести к середине временного интервала.
2. Рассчитать выровненные значения по способу скользящей средней и нанести их на график.
3. Вычислить дополнительные крайние значения ряда и рассчитать выровненные величины ряда по способу взвешенной скользящей средней.
4. Сделать краткий анализ результатов работы.

Форма представления отчёта:

График исходного ряда и выровненные ряды. Краткий анализ полученных данных.

Список литературы

Математические методы в географии. Казань. Изд-во Казанского ун-та, 1976.

Турманина В.И. Влияние на растительность внутривековых ритмов увлажнения.

//Ритмы и цикличность в природе. М.: Мысль, 1970.

4. ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

4.1. Плоскостной (микроручейковый) смыв

Плоскостным смывом или плоскостной эрозией часто называют деятельность очень малых временных водных потоков (микроручьёв), приводящая к смыву почвы. Это наиболее распространённый вид эрозии, проявляющийся практически во всех агроландшафтах и встречающийся иногда в неизменённых деятельностью человека природных комплексах. Название «плоскостная эрозия» не совсем верно, поскольку плоскостной сток на открытой поверхности явление такое же редкое, насколько редка в природе ровная поверхность. Смыв всегда осуществляется через систему микроручейков, использующих первоначальные понижения микрорельефа склонов и разрабатывающих их в процессе стока. Структура микроручейковой сети определяется многими факторами, среди которых наибольшее значение имеют форма склона, его крутизна и характер обработки, состав размываемых пород. Микроручейковая сеть формируется на распаханых склонах после первого же ливня, дающего поверхностный сток. После вспашки эрозионные понижения нивелируются и образуются вновь после таяния снега или дождей не на тех же самых местах, что приводит в итоге к постепенному и общему снижению всей поверхности. Небольшие ручейки, рывины не имеют отчетливо очерченных и постоянно поддерживаемых работой воды русел и их можно встретить практически по всей длине склона, почти от водораздела до подошвы, однако её густота и размеры микроручьёв меняются на разных участках склона. Отдельные системы микроручьёв часто заканчиваются участками аккумуляции материала, иногда уместающимися в пределах борозд или иных микропонижений. Расстояние, на которое переносится материал до его аккумуляции в микроконусах, может составлять от нескольких метров до первых десятков метров (рис.41). Тесная связь между эрозией и аккумуляцией заключается не только в попеременном чередовании врезания микроручьёв и отложение ими материала в микроконусах. Материал отлагается и в самих микроручьях в завершающую стадию поверхностного стока, а области аккумуляции периодически подвергаются размыву. Аккумуляция материала происходит также во время дождей, не дающих стока, при разбрызгивании каплями дождя мелкозёма на поверхности почвы.

Задание: А. Используя данные полевого картирования микроручейковой сети (рис.4.1) составить карту её густоты.

Б. Проследить закономерности изменения количества микроручьёв и площадей аккумуляции по падению склона.

Порядок выполнения:

1. На листе миллиметровой бумаги расставить сеть точек на расстоянии 2 см друг от друга, соответствующих центрам картировочных квадратов, изображённых на рис. 4.1.

2. С помощью курвиметра или циркуля-измерителя определить протяжённость микроручейковой сети в каждом картировочном квадрате.

3. Подсчитать густоту микроручейковой сети в $\text{м}/\text{м}^2$ для каждого квадрата и полученные значения проставить в точках, соответствующих их центру.

4. По полученным данным построить карту густоты микроручейковой сети.

5. Произвести подсчёт количества микроручьёв и площадей, занятых аккумулятивными образованиями, на створах через каждые 5 м.

6. По данным подсчётов на миллиметровой бумаге в одной системе координат построить графики изменения количества микроручьёв и площадей аккумуляции по падению склона.

7. Проанализировать полученные данные.

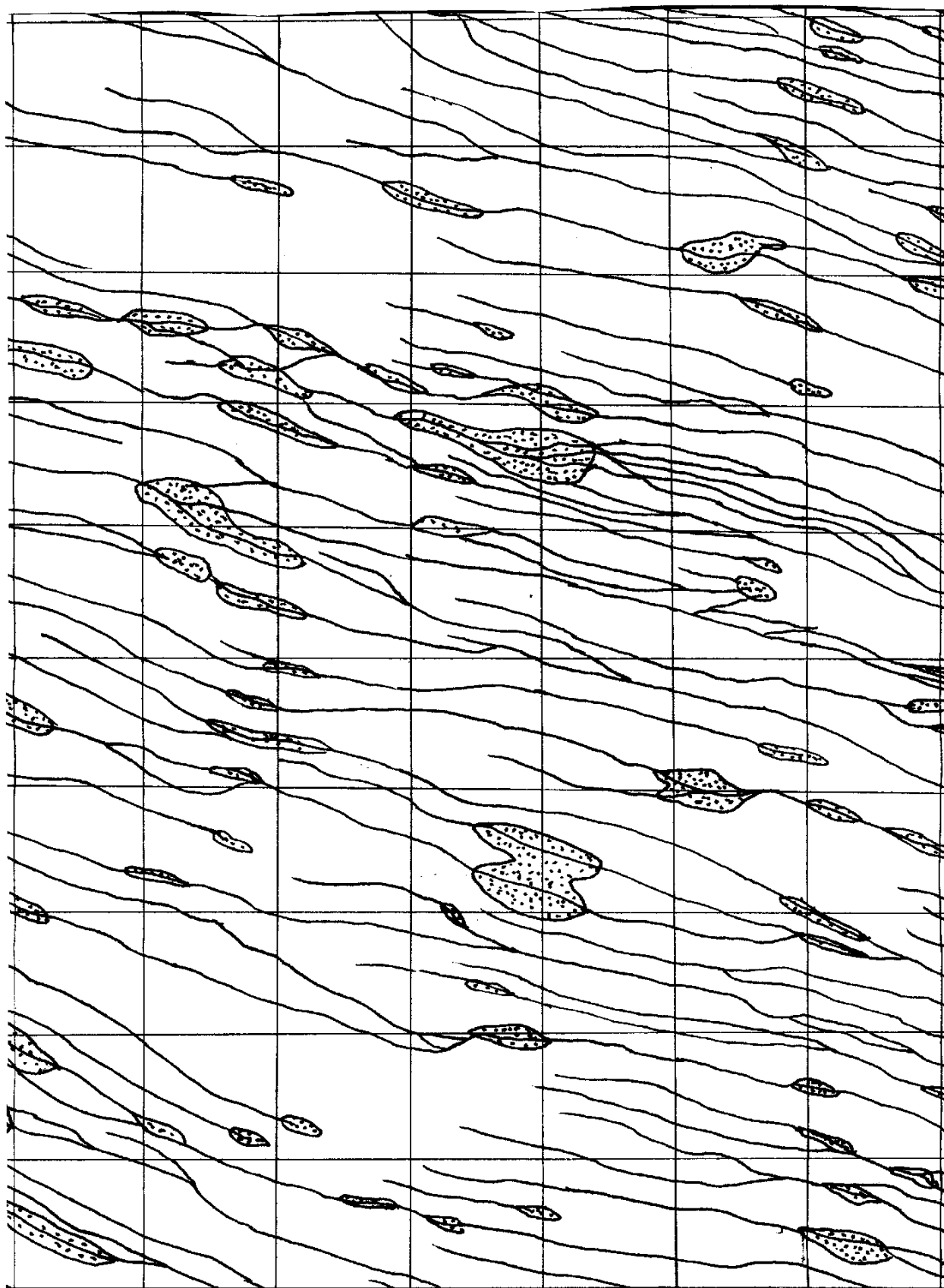


Рис.4.1. Материалы полевого картирования микроручейковой сети на пашне. Точечной штриховкой обозначены участки аккумуляции. Верхняя часть склона расположена на рисунке слева. Размеры квадратов 5×5 м. Малоपुरгинский р-н, ОПХ «Уромское».

Форма представления отчёта:

1. Карта густоты микроручейковой сети.
2. Графики изменения количества микроручьёв и площадей аккумуляции по падению склона.

Список литературы

Егоров И.Е. Современные экзогенные процессы и методы их изучения. Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2017.

4.2. Овражная эрозия

Оврагами называются узкие крутосклонные отрицательные линейные формы рельефа, с незадернованными бортами, часто ветвящиеся к верховью. Длина оврагов может достигать несколько километров, ширина и глубина – десятки метров.

Характерными признаками оврагов являются: глубина более 2,0 м, длина – десятки, сотни метров и более, незадернованные или слабозадернованные крутые склоны (до 45-50° и более), продольный профиль отличается от профиля склона (или днища балки, суходола) значительно большими уклонами в привершинной части и небольшими в приустьевой.

По положению в рельефе все овраги делятся на первичные и вторичные.

Первичные овраги закладываются на склонах балок и речных долин, не имеющих четко выраженного линейного понижения, концентрирующего поверхностный сток. Водосборная площадь этих оврагов плохо выражена в рельефе. Среди первичных выделяются склоновые, развивающиеся на длинных и не очень крутых склонах балок и долин, и береговые - приуроченные к более крутым берегам речных долин. Эти овраги более короткие, с крутым продольным профилем, с четким вершинным перепадом.

Среди первичных оврагов можно выделить три разновидности:

1. Придолинные овраги, развивающиеся на крутых склонах речных долин. Они обычно короткие (менее 100 м), не выходят вершиной за бровку склона. Морфологически напоминают промоины, но отличаются от них более глубоким врезом. Нередко они встречаются группой в виде серии параллельных размывов. В устьевой части таких оврагов обычно хорошо сохраняются конусы выноса.

2. Прибалочные овраги возникают на склонах балок, суходолов, лощин, сложенных мощной толщей делювиально-солифлюкционных суглинков. В этих оврагах конусы выноса почти всегда отсутствуют. Прибалочный овраг может вызвать развитие донного. В этом случае возникает сочетание двух типов оврагов.

3. Приводораздельные овраги распространены по различным элементам рельефа (за исключением крутых склонов речных долин, балок и их днищ) и их водосборы достигают ближайших водоразделов. Обычно овраги данного вида в вершинной части размывают коренные породы и развиваются очень медленно. На длинных склонах они образуют сложный комплекс овражных систем.

Вторичные овраги развиваются по днищам отчетливо выраженных линейных эрозионных форм (лощин, балок, суходолов и др.). Они имеют хорошо выраженный водосбор, в вершине оврага происходит значительная концентрация стока. В зависимости от места размыва различаются донные овраги, закладывающиеся на днище древних форм в их средней и нижней части, и вершинные или верховые, приуроченные к верховьям.

Среди вторичных можно выделить также пойменные овраги. Причиной их развития служит русловой размыв берегового уступа и наличие стокоподводящей ложбины на пойме. Пойменные овраги обычно короткие, глубина их вреза зависит от высоты поймы. За пределами поймы эти овраги имеют сформировавшийся водосбор, обычно балочный. На

самой пойме овраг наследует линейное понижение в виде ложбины, возникшее за счет речной эрозии в период высоких половодий.

О степени поражённости территории оврагами можно судить, используя различные характеристики: а) по проценту площади, непосредственно занимаемой оврагами; б) по суммарной протяженности оврагов, измеряемой протяженностью овражной сети на 1 км^2 ; в) по плотности оврагов, измеряемой количеством оврагов, приходящихся на 1 км^2 ; г) по расчлененности склонов оврагами, определяемой средним расстоянием между двумя оврагами; д) по объему оврагов — $\text{м}^3/\text{км}^2$.

Задание: для территории, изображённой на рис.4.2, определить характеристики поражённости её оврагами.

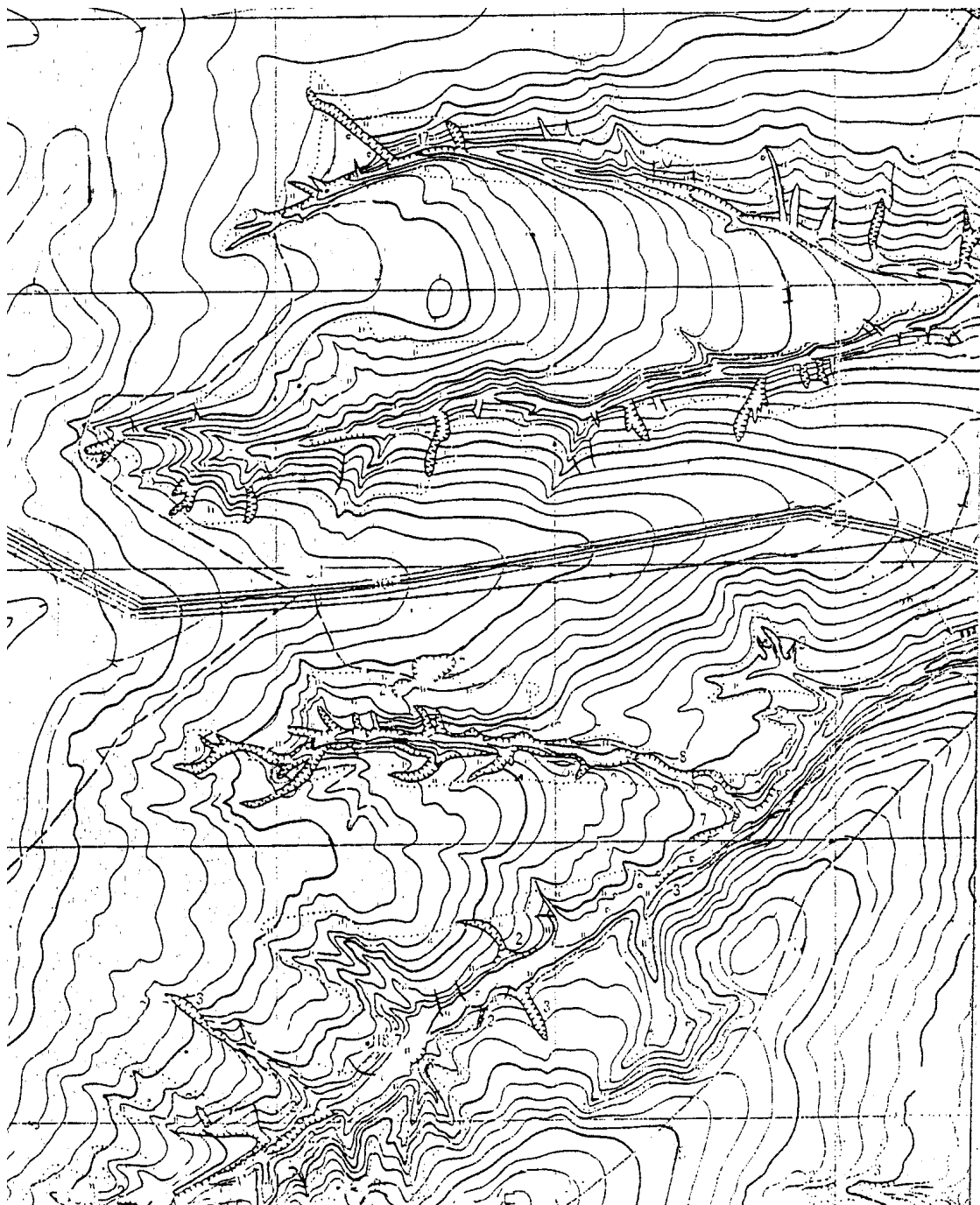


Рис. 4.2. Овражно-балочная сеть в условиях полностью распаханых водосборных площадей.
М 1: 25000.

Порядок выполнения:

1. Выделить и перенести на кальку различным цветом первичные и вторичные овраги и их разновидности.
2. С помощью циркуля-измерителя определить суммарную протяжённость и среднюю длину всех разновидностей оврагов.
3. Вычислить процентное соотношение разных видов оврагов по их количеству и суммарной протяжённости.
4. Вычислить общее значение густоты овражной сети и плотности оврагов.
5. Рассчитать отдельно среднее расстояние между оврагами для склонов верхнего и нижнего овражно-балочного комплекса.

Форма представления отчёта:

1. Калька с нанесёнными на ней оврагами.
2. Результаты выполненных подсчётов.

Список литературы

Егоров И.Е. Современные экзогенные процессы и методы их изучения. Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2017.

Рысин И.И. Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удмуртского ун-та, 1998.

4.3. Русловые процессы

Русловые процессы определяют развитие форм речных русел и режим их сезонных и многолетних изменений. Благодаря русловым процессам реки изменяют земную поверхность, создавая речные долины и аллювиальные равнины.

Все изменения русла (русловые деформации) разделяются на три основные группы: 1) вертикальные, вызывающие изменение продольного профиля реки; 2) горизонтальные, связанные с размывами (боковая эрозия) или наращиванием берегов; 3) движение донных гряд, перекатов, отмелей, кос и др.

Практически на всех реках постоянно наблюдаются горизонтальные деформации. С ними связано образование меандрирующих, разветвленных на рукава и относительно прямолинейных неразветвленных русел. Горизонтальные деформации могут быть направленными, приводящими к постепенному расширению дна долины и формированию поймы, и периодическими, связанными с эволюцией излучин, перераспределением стока между рукавами и другими видами блуждания русла по дну долины.

Лучше всего изучены деформации меандрирующих русел, которые наиболее распространены на земле и встречаются в разных природных условиях. Самая яркая черта меандрирующих русел - криволинейная форма в плане. В поперечном профиле они отличаются наличием глубокого плеса у вогнутого берега и отмели у выпуклого берега. Меандрирование называется свободным, если оно не ограничено выходами относительно прочных грунтов на берегах. Формы свободных излучин разнообразны (рис. 4.3). При этом излучины постоянно находятся в процессе переформирования.

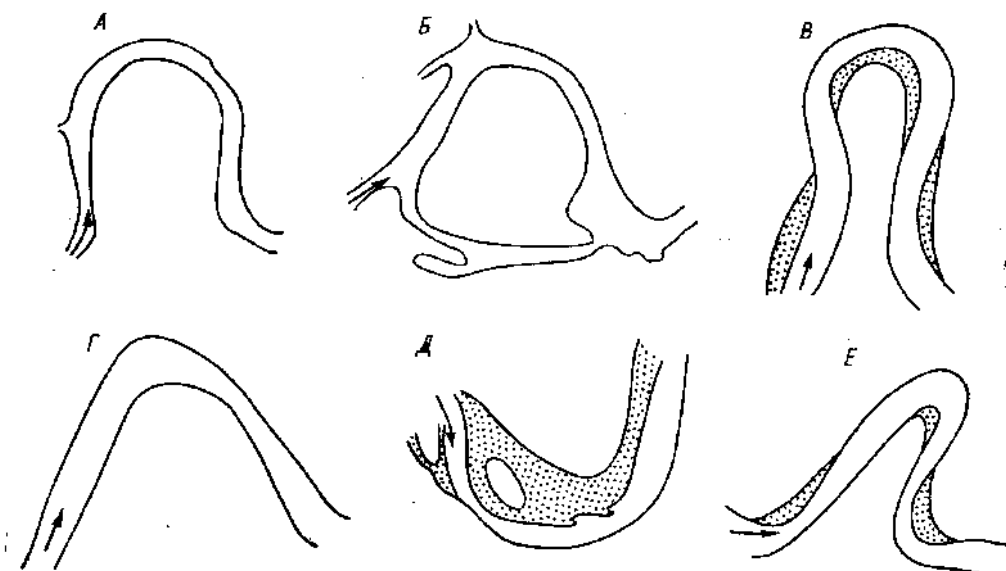


Рис. 4.3. Формы свободных излучин в плане: А – сегментная; Б – прорванная; В – омеговидная; Г – синусоидальная; Д – сундучная; Е – заваленная.

В пределах излучин принято выделять отдельные элементы, сочетания между которыми, а также факторами руслового процесса позволяют определять форму и стадию развития излучины (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Элементы излучин русла и распределение в их пределах скоростей и зон ускорения течения.

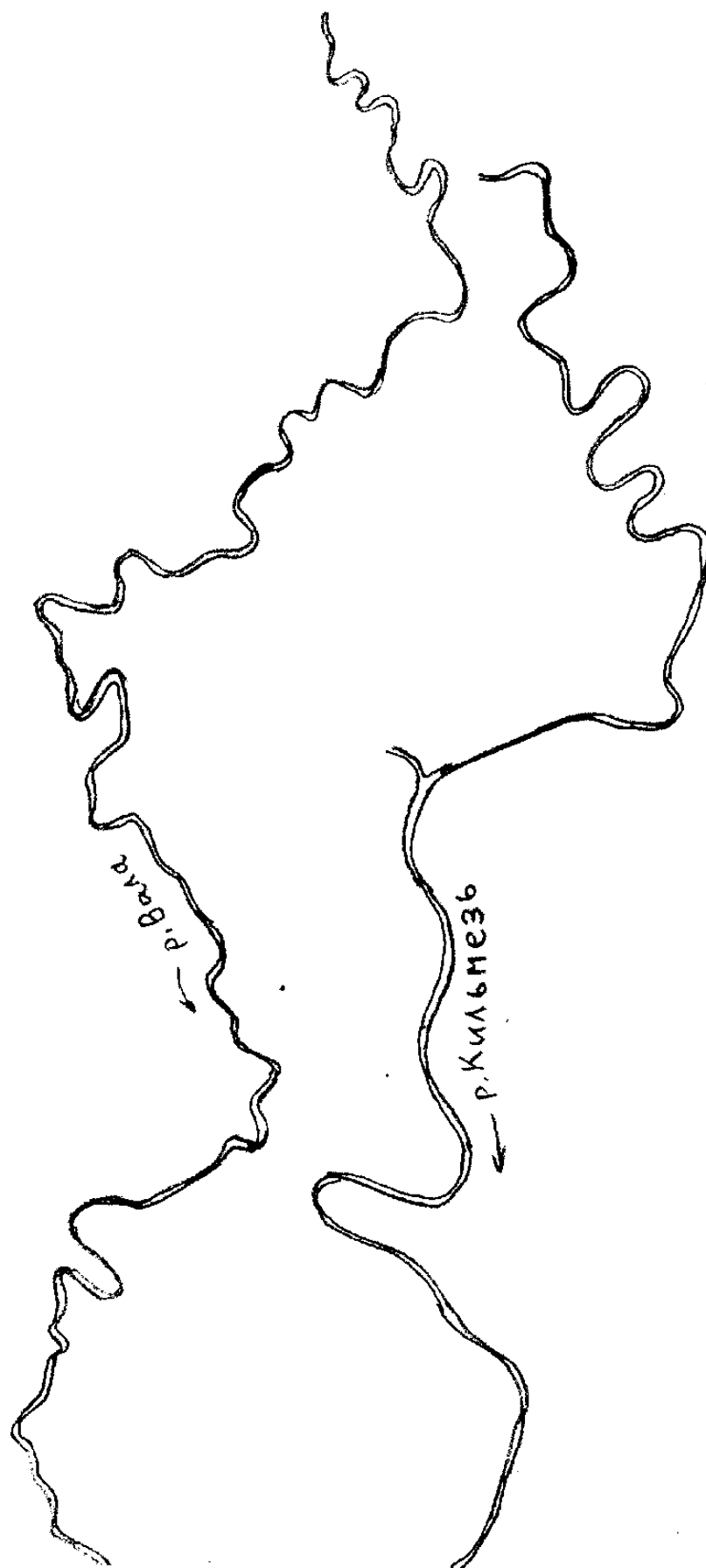


Рис. 4.5. Участки русел рек Кильмезь и Вала в нижнем течении. М1:100000.

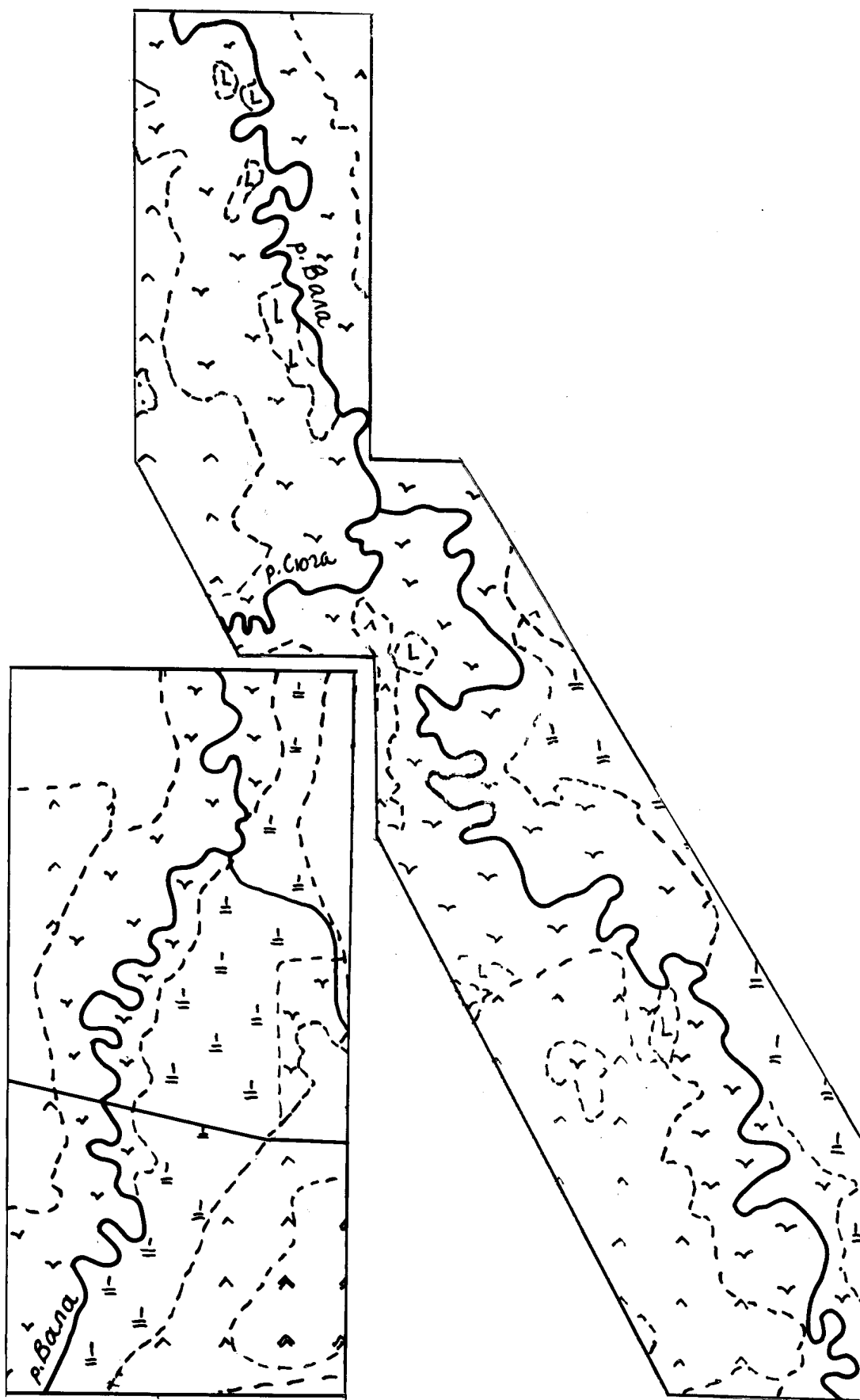


Рис. 4.6. Два участка русла р. Бала в верхнем течении. М1:25 000.

Задание: По рис. 4.5 и 4.6 определить характер форм русел для участков рек Кильмезь и Вала.

Порядок выполнения:

1. Определить с помощью курвиметра протяжённость участков русел рек.
2. Вычислить протяжённость и доли в процентах прямых и извилистых участков.
3. Определить типы излучин и их доли от общего числа излучин в процентах.
4. Определить для всех форм шаг излучин, радиус кривизны, стрелу прогиба.
5. Сравнить формы русла для участков в верхнем и нижнем течении.
6. Проанализировать полученные данные.

Форма представления отчёта:

1. Количественные характеристики форм русла.
2. Текстовый анализ полученных результатов.

Список литературы

- Беркович К.М. Русловые процессы и русловые карьеры. М.: Изд-во МГУ, 2005.
- Егоров И.Е. Современные экзогенные процессы и методы их изучения. Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2017.
- Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986

4.4. Нивальные формы рельефа

Нивацией называется рельефообразующий процесс, протекающий под действием снега. Необходимым условием нивации является колебание температуры воздуха около точки замерзания воды и поступление воды от тающих снежников. В этих условиях развивается морозное выветривание, горные породы разрушаются и выносятся водой или солифлюкцией, а под снежниками образуются новые формы рельефа – цирки и кары, имеющие форму амфитеатров с крутыми склонами и пологими днищами.

В рыхлых толщах снежники создают нивальные ниши и серповидные врезы в склоны террас. Наиболее энергично нивальный процесс воздействует на заднюю стенку впадины, разрушая её, при этом крутизна днища постепенно увеличивается. Нивальная очистка цирка создаёт условия для дальнейшего разрушения горной породы. Образующаяся нивальная впадина постепенно врезается в поверхность склона, и он приобретает вогнутый профиль, как в вертикальном, так и в горизонтальном сечении. В выработке отдельных морфологических черт нивальных форм важную роль играют другие процессы, особенно транспортировки продуктов выветривания.

Нивальные процессы развиваются в разных климато-ландшафтных обстановках, но наиболее ярко проявляются в условиях перигляциального климата с продолжительно залегающим снежным покровом.

На востоке Русской равнины, в том числе территории Удмуртии, нивальные формы рельефа имеют широкое распространение и характеризуются большим разнообразием. Среди них преобладают реликтовые, сформировавшиеся в перигляциальных условиях плейстоцена. Морфологическое разнообразие нивальных форм возрастает с увеличением глубины эрозионного вреза, экспонирующего на дневную поверхность разные по составу горные породы.

Для нивальных форм, независимо от условий их формирования, характерен ряд общих признаков:

- округлая в плане форма;
- вогнутый профиль в вертикальном и горизонтальном сечении склона;
- сильно выветрелые грунты вблизи краёв снежника;

- тонкий механический состав продуктов выветривания;
- отсутствие ярко выраженных морфологических следов стока талых вод;
- отсутствие следов выпаживания снежником своего ложа.

Для территории востока Русской равнины можно выделить несколько типов форм рельефа, созданных при активном участии нивации:

1. Западины и чаши - наиболее мелкие нивальные формы рельефа. Ширина западин обычно не превышает 50 м, ширина чаш достигает 75-100 м. Глубина вреза тех и других не превышает 5 м, составляя в среднем 2.5-3.0 м. Днища нивальных западин и чаш обычно являются висячими по отношению к подошве склона или к современным базисам эрозии.

2. Ниши (рис. 4.6, А) – округлые или овальные понижения, напоминающие внешнюю стенку срыва оползней. Они могут встречаться отдельно или как составные части более сложных и крупных форм. Ширина нивальных ниш изменяется от 50 до 150 м, иногда достигает 170 м. Хорошо выраженные стенки нивальных ниш плавно сочленяются с днищем.

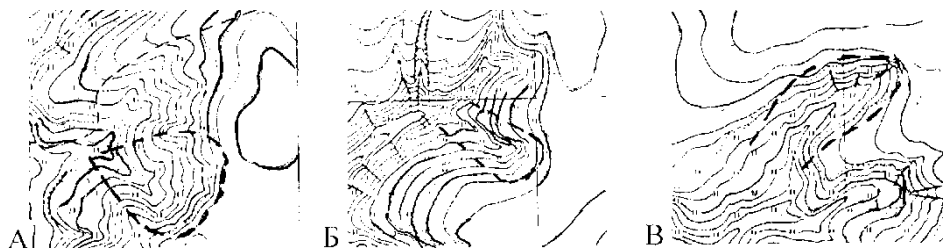


Рис. 4.6. Нивальные формы рельефа. А – ниша, Б – лоток, В – ложбина.

3. Лотки - наиболее широко распространенные нивальные формы в пределах региона. Встречаются как по отдельности, так и в составе более крупных и сложных нивальных образований в качестве отдельных элементов (рис. 4.6, Б). В плане они имеют форму, близкую к прямоугольнику или квадрату со сглаженными вершинами. Это компактные, обычно, изометричные понижения.

4. Нивальные ложбины напоминают эрозионные ложбины и балки (рис.4.6, В). Однако формирование морфологических особенностей нивальных ложбин можно объяснить только развитием нивальных процессов. Это округлые булавовидные расширения в их вершинах, не встречающихся при развитии форм линейной эрозии и вогнутые, а не прямые профили бортов.

5. Цирки - это более крупные, чем ниши, нивальные образования. По морфологии выделяется два типа цирков.

Цирки первого типа имеют хорошо выраженную бровку; крутой, слабо расчлененный уступ и мульдообразное днище, к центру которого стягивается сток талых и дождевых вод. Ширина их изменяется от 0.25-0.3 км до 0.5-0.7 км. Глубина вреза составляет от 20 до 60 м.

Цирки второго типа по своим размерам ещё больше, достигая в поперечнике 1.0 км и более. У них чётко выражена тыловая сторона уступа, высота которой может составлять от 20 до 50 м, углы наклона достигают 40°. Во фронтальной части высота уступа снижается до 5-10 м. Подошва уступа сильно выположена. В уступ цирков второго типа вложены более мелкие нивальные формы - ниши и лотки, поэтому в плане цирки имеют очертания лопасти.

6. Нивальные комплексы - наиболее крупные и сложные по строению образования, в их составе встречаются все выше перечисленные формы. По морфологии нивальные комплексы делятся на два типа. Первый тип нивальных комплексов отличается компактностью. Это крупные понижения, имеющие округлые или овальные очертания, достигающие в поперечнике 1.5-2.0 км. Ниши, лотки, ложбины и разделяющие их гребни веерообразно сходятся в наиболее низкой части днищ комплексов, формируя своеобразные узлы схождения. Нивальные комплексы первого типа приурочены в основном к региональным

куэстовым уступам. На склонах речных долин они встречаются реже, за исключением правого склона долины р. Кама и её правобережных притоков.

Второй тип отличается фронтальным распространением. Это лотки, ниши, цирки, непрерывно прослеживаемые на каком-либо участке склона на протяжении от нескольких до десятков км (рис. 4.7).

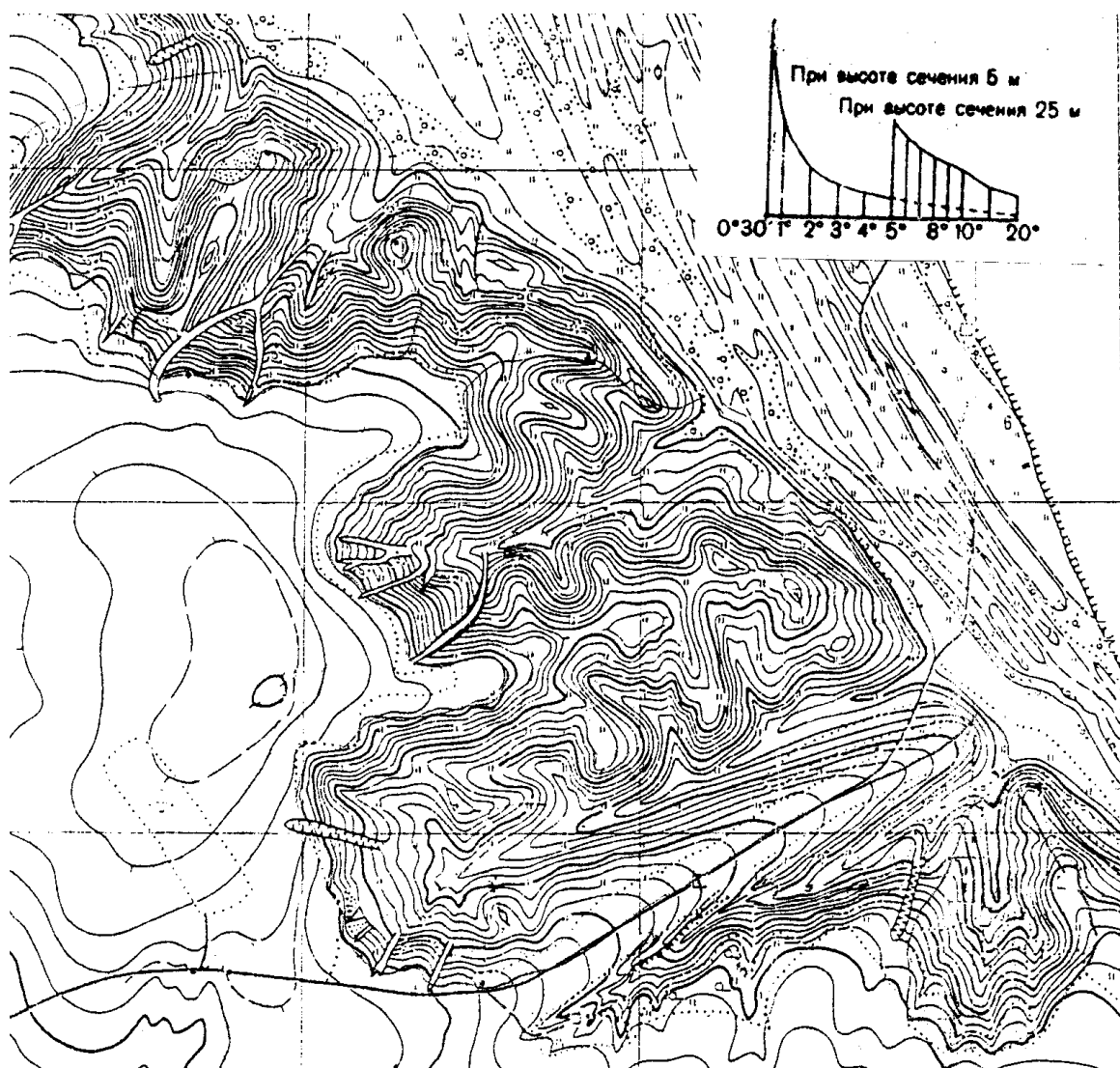


Рис.4.7. Нивальные цирки, ниши и лотки в составе нивального комплекса.

М 1:25000.

Морфологический анализ нивальных форм основан, прежде всего, на изучении структурных линий. Среди них особенно важны бровки, шовные линии, тальвеги, гребни и ребра. Четкость выражения бровок, их овальные и округло открытые очертания в плане являются наиболее характерными генетическими признаками нивальных форм.

Шовные линии соответствуют вогнутому перегибу на месте сочленения верхней, более крутой, и нижней, более пологой части поверхностей ниши. Для количественной характеристики выположенности этой зоны рассчитывается безразмерная величина - коэффициент выположенности вогнутого склона, получаемый путем деления расстояния между смежными горизонталями в наиболее выположенной части нивальных форм к расстоянию между этими же горизонталями на склоне, в поверхность которого она вложена. Этот коэффициент, равный 1 при прямом профиле склона, постепенно возрастает по мере

выполживания основания склона и свидетельствует об участии в преобразовании исходных эрозионных склонов процессами нивации, солифлюкции и смыва.

Гребни присущи сложным нивальным комплексам, где они соответствуют границам более мелких нивальных форм.

Форма в плане обычно оценивается с помощью коэффициента изометричности, индекса симметрии и коэффициента компактности.

Коэффициент изометричности вычисляется отношением короткой и длинной осей нивального образования и в соответствии с изменением его значения формы рельефа делятся на классы от линейно-вытянутых до линейно-расширенных.

Коэффициент симметрии определяется из соотношения длин склонов или площадей частей нивальной формы относительно тальвега.

Надежным морфологическим признаком нивальных форм является компактность, поскольку округлые плановые очертания являются наиболее характерным результатом работы снежников. Показатель компактности рассчитывается как отношение длины периметра нивальной формы к длине периметра круга такой же площади. Компактность круга равна 1. Определение коэффициента изометричности, индекса симметрии и коэффициента компактности позволяют дать количественную характеристику нивальных форм и использовать для последующей интерпретации их генезиса и динамики.

Продольные и поперечные профили нивальных форм позволяют дать высотную привязку основных элементов морфологической структуры - бровок, швов, выявить положение выположенных и крутых отрезков линий профилей и увязать их с геологическим строением и этапами развития нивальных форм.

Сопоставление сопряженных профилей линий тальвегов и гребней в сложных нивальных комплексах позволяет оценить роль геологического фактора в выработке морфологических особенностей нивальных комплексов. Наличие устойчивых пластов, придающих морфологии нивальных комплексов структурную предопределенность, отражаются на продольных профилях тальвегов и гребней.

Задание: Выполнить морфологический анализ нивальных форм рельефа в составе нивального комплекса, изображённого на рис. 4.7.

Порядок выполнения:

1. На кальку перенести контуры нивального комплекса. Нанести на кальку структурные линии - бровки, шовные линии, тальвеги, гребни, рёбра и выделить на их основе в составе нивального комплекса более мелкие формы.

2. Для двух наиболее крупных нивальных цирков вычислить коэффициенты изометричности, симметрии и компактности.

3. Для этих же нивальных цирков вычертить на миллиметровой бумаге продольные и поперечные профили.

4. Проанализировать полученные количественные и графические данные.

Форма представления отчёта:

1. Схема выделенных нивальных форм.

2. Линии профилей.

3. Количественные характеристики нивальных цирков.

4. Текстовый анализ результатов.

Список литературы

Егоров И.Е. Современные экзогенные процессы и методы их изучения. Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2017.

Солнцев Н.А. Снежники как геоморфологический фактор. М.: Географгиз, 1949.

4.5. Процессы осыпания и обваливания

Осыпание и обваливание являются результатом проявления гравитационных процессов, выражающихся в смещении по крутым склонам обломков горных пород. Образование осыпей связано в основном с физическим выветриванием обнажённых пород крутого склона или откоса и осыпанием выветрелого материала, в результате чего стенка склона испытывает параллельное отступление. Продукты выветривания скапливаются у подножья склона и формируют осыпь (коллювий), специфический тип отложений гравитационного ряда (рис. 4.8).

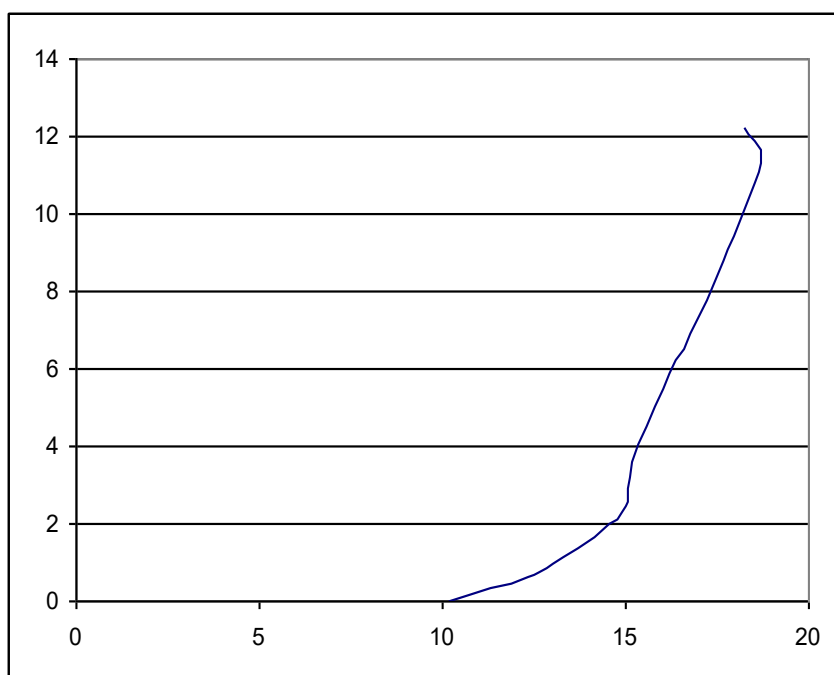


Рис.4.8. Типичный профиль осыпного склона. Верхняя часть профиля с высотами 12,5- 11,5 м - карниз, сложенный четвертичными суглинками, с высотами от 11,5 до 4 м – выходы коренных алевролитов, от 4 до 2,5 м – уступ, сложенный песчаниками, остальная часть профиля – осыпь. Воткинское водохранилище.

Обвальнo-осыпной склон имеет два главных элемента – осыпaющийся и обваливающийся склон (откос) и осыпь.

В однородных породах осыпной склон характеризуется относительно прямолинейным профилем с углом наклона от 30-35° до 80-90°. Большой разброс значений крутизны обусловлен составом пород и высотой склона. Чем прочнее порода, тем более крутые откосы она образует. С другой стороны, чем выше откос, тем при одинаковой крутизне он менее устойчив.

Осыпание часто сопровождается обваливанием, мгновенным обрушением массивов горных пород, в результате образуются стенки и ниши срыва в верхних частях склонов и хаотические скопления крупнообломочного материала или рассеянные у подножья склона отдельные крупные глыбы и блоки горных пород. Стенки срыва обычно совпадают с

поверхностями разломов, границами пластов, с трещинами бокового отпора, дающими первоначальный импульс гравитационным процессам.

Задание: Используя данные таблиц 4.1 и 4.2, дать оценку темпов развития процессов осыпания.

Таблица 4.1

Характеристики скорости осыпания на склонах у д. Метляки
(данные за 2005-2011 гг.)

Номер створа	Расст. от бровки склона, м	Выступившая длина шпильки, мм						
		2006г.	2007г.	2008г.	2009г.	2010г.	2011г.	Прирост высоты шлейфа, см
Склон юго-западной экспозиции								
1	0,40	55	50	65	30	198	45	13
	0,70	27	140	28	85	185	40	
	1,20	20	140	20	-	-	-	
2	0,95	20	-	45	90	66	47	23
	1,45	19	230	15	-	-	-	
3	0,60	65	40	77	65	133	68	18
	1,10	0	80	50	70	63	54	
	1,86	22	120	10	-	-	-	
4	1,70	48	110	86	65	-	-	18
	2,25	21	-	-	105	20	-	
Склон северо-восточной экспозиции								
1	0,80	82	150	55	40	-	-	23
	1,30	92	-	-	115	-	-	
	1,50	112	-	-	30	-	-	
2	0,60	12	200	95	140	-	-	12
	1,20	58	65	25	90	-	-	

Таблица 4.2

Скорости осыпания абразионного склона юго-западной экспозиции.
Берег Воткинского водохранилища, см.

№ измер.	Угол наклона	Расстояние от бровки	2016	2017	2018	2019
1	76°	0	25	25	22	23
2		0,40	27	28	23	27
3		1,20	22	21	23	20
4		1,90	19	19	20	18
5		2,40	10	9	11	11
6	50°	3,20	11	12	11	13
7		4,30	13	12	12	12
8		6,00	12	13	11	12
9		7,30	13	11	12	10
10		8,30	8	7	7	9
11	54°	9,20	11	11	10	12
12		10,2	16	17	15	18

13		11,10	17	18	16	17
14		12,00	15	16	16	16

Порядок выполнения:

1. По данным таблицы 4.2 построить профили осыпного склона в разные годы. Исходный профиль вычертить в соответствии с характеристиками углов наклона различных участков склона, начиная с его бровки.

2. На профиле сверху вниз отметить положение точек отсчёта, затем, отступая от них, наметить положения новых точек профилей, образовавшихся вследствие развития процессов осыпания. Вычертить профили склона по состоянию на 2016, 2017, 2018 и 2019 годы.

3. Проанализировать данные, приведённые в таблицах 4.1 и 4.2 и составленный графический материал.

Форма представления отчёта:

1. Профили осыпного склона.
2. Текстовый анализ данных.

Список литературы

Егоров И.Е. Современные экзогенные процессы и методы их изучения. Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2017.

Егоров И.Е., Глейзер И.В. Методика и результаты изучения процессов осыпания и обваливания правобережья Воткинского водохранилища.// Вестник Удмуртского ун-та, сер. Биология. Науки о Земле. Вып. 1, 2012.

4.6. Абразионные процессы на водохранилище

Абразия представляет собой разрушение берегов действием волн и прибоя. В результате формируются характерные абразионные берега, основными элементами которых являются абразионные подводные склоны (бенч), береговые уступы (клиф), волноприбойные ниши и подводные намывные аккумулятивные террасы. Кроме того, абразия провоцирует и активизирует развитие ряда других процессов, принимающих с ней совместное участие в изменении рельефа береговой зоны водохранилищ.

На рисунках 4.9 и 4.10 приведены материалы повторных съёмок берегового уступа Воткинского водохранилища, сложенного четвертичными отложениями суглинистого состава. Высотные отметки линии уреза воды неизменны.

Задание: по данным повторных съёмок оценить интенсивность переработки берегов водохранилища.

Порядок выполнения:

1. На кальку последовательно нанести разным цветом линии берегового уступа и уреза воды относительно неподвижных грунтовых реперов.

2. На миллиметровой бумаге вычертить профиль абразионного берега по одному из указанных на рис. 4.10 направлений.

3. На профиле отметить положение уступа и уреза воды в прошлые годы. Профиль абразионного склона прямой. Профиль подводного склона отступает параллельно.

4. Определить средние и максимальные значения скоростей разрушения берега водохранилища на данном участке.

5. Проанализировать полученные данные.

Форма представления отчёта:

1. Профиль абразионного берега.
2. Схема расположения берегового уступа и линии уреза воды на кальке.
3. Краткий текстовый анализ данных.

Список литературы

Егоров И.Е. Современные экзогенные процессы и методы их изучения. Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2017.

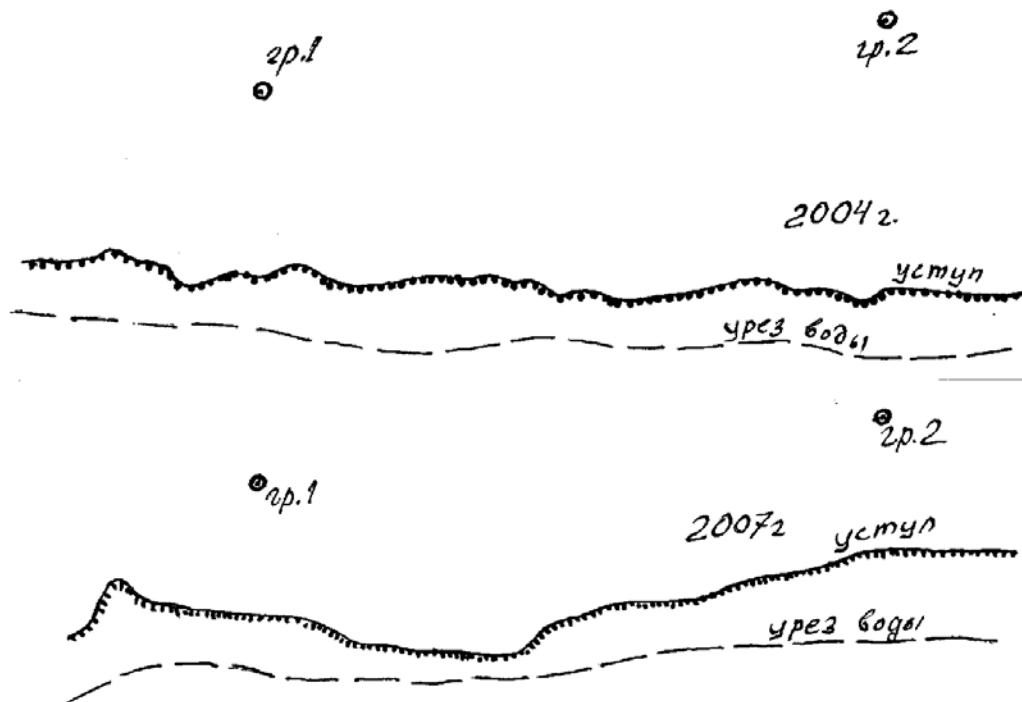


Рис. 4.9. Положение берегового уступа и линии уреза воды на Воткинском водохранилище в 2004 и 2007 г.г. Масштаб 1: 500.

Гр.1 и гр2 – грунтовые репера.

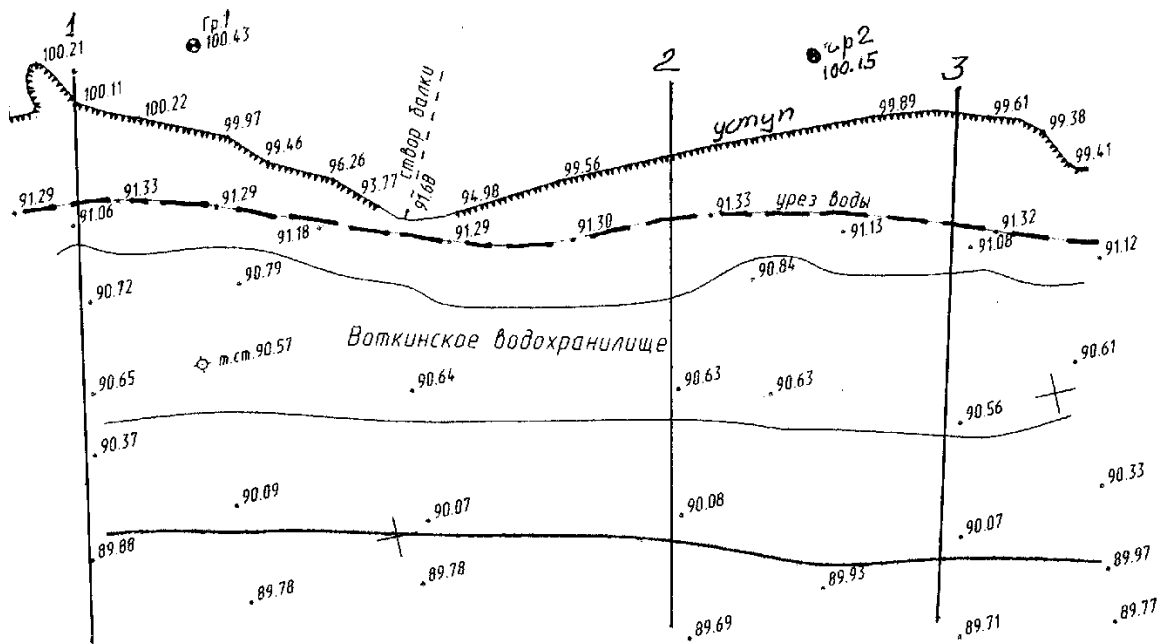


Рис. 4.10. Положение берегового уступа и линии уреза воды на Воткинском водохранилище в 2010 г. Масштаб 1: 500.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Значение функции $-p_i \log_2 p_i$

p_i	$p_i \log_2 p_i$	p_i	$p_i \log_2 p_i$	p_i	$p_i \log_2 p_i$	p_i	$p_i \log_2 p_i$
0.01	0.0664	0.26	0.5053	0.51	0.4954	0.76	0.3009
0.02	0.1128	0.27	0.5100	0.52	0.4906	0.77	0.2903
0.03	0.1518	0.28	0.5142	0.53	0.4854	0.78	0.2796
0.04	0.1858	0.29	0.5179	0.54	0.4800	0.79	0.2687
0.05	0.2161	0.30	0.5211	0.55	0.4744	0.80	0.2575
0.06	0.2435	0.31	0.5238	0.56	0.4685	0.81	0.2462
0.07	0.2686	0.32	0.5260	0.57	0.4623	0.82	0.2348
0.08	0.2915	0.33	0.5278	0.58	0.4558	0.83	0.2231
0.09	0.3126	0.34	0.5292	0.59	0.4491	0.84	0.2113
0.10	0.3322	0.35	0.5301	0.60	0.4422	0.85	0.1993
0.11	0.3503	0.36	0.5306	0.61	0.4350	0.86	0.1871
0.12	0.3671	0.37	0.5307	0.62	0.4276	0.87	0.1748
0.13	0.3826	0.38	0.5305	0.63	0.4199	0.88	0.1623
0.14	0.3971	0.39	0.5298	0.64	0.4121	0.89	0.1496
0.15	0.4105	0.40	0.5288	0.65	0.4040	0.90	0.1386
0.16	0.4230	0.41	0.5274	0.66	0.3956	0.91	0.1238
0.17	0.4346	0.42	0.5256	0.67	0.3871	0.92	0.1107
0.18	0.4453	0.43	0.5236	0.68	0.3783	0.93	0.0974
0.19	0.4552	0.44	0.5210	0.69	0.3694	0.94	0.0839
0.20	0.4644	0.45	0.5184	0.70	0.3602	0.95	0.0703
0.21	0.4728	0.46	0.5153	0.71	0.3508	0.96	0.0565
0.22	0.4806	0.47	0.5120	0.72	0.3412	0.97	0.0426
0.23	0.4877	0.48	0.5083	0.73	0.3314	0.98	0.0286
0.24	0.4941	0.49	0.5043	0.74	0.3215	0.99	0.0144
0.25	0.5000	0.50	0.5000	0.75	0.3113	1.00	0.0000

Таблица 2

Двоичные логарифмы целых чисел

n	$\log_2 n$	n	$\log_2 n$	n	$\log_2 n$	n	$\log_2 n$
1	0.0000	6	2.5850	11	3.4549	16	4.0000
2	1.0000	7	2.8074	12	3.5850	17	4.0875
3	1.5850	8	3.0000	13	3.7000	18	4.1699
4	2.0000	9	3.1699	14	3.8074	19	4.2479
5	2.3219	10	3.3219	15	3.9069	20	4.3219

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

Егоров Игорь Евгеньевич

МЕТОДЫ
ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Учебно-методическое пособие

Авторская редакция

Отпечатано с оригинал-макета заказчика

Подписано в печать 20.12.2021. Формат 60х84 ¹/₈.

Усл. печ. л. 7,44. Уч.-изд. л. 5,53.

Тираж 30 экз. Заказ № 2389.

Издательский центр «Удмуртский университет»
426034, Ижевск, ул. Университетская, д. 1, корп. 4, каб. 207
тел./ факс: +7(3412) 50-02-95 E-mail: editorial@udsu.ru

Типография Издательского центра «Удмуртский университет»
426034, Ижевск, ул. Университетская, 1, корп. 2.
Тел. 68-57-18