

УДК 551.578.41: 551.578.46: 551.578.483

И.А.КОНОНОВ

Методы определения структуры снежного покрова с помощью ЭВМ

При стратиграфических наблюдениях описываются качественные параметры снежной толщи (форма и размер ледяных кристаллов, слагающих снежный слой). Количественное определение структуры возможно по фотоснимкам ледяных кристаллов. Цель работы – описать методику определения класса формы и размера кристаллов льда по фотоснимкам с помощью ЭВМ. Классификация рассматривается как задача распознавания образов.

Ключевые слова: алфавит признаков, словарь признаков, распознавание образов, сегментация изображений, конструктивный метаморфизм, ледяные кристаллы, снежный покров.

Computer recognition of snow cover structure. I.A.KONONOV (Sakhalin Department of the Far East Geological Institute, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk).

Under stratigraphic control the qualitative characters of the snow mass (form and size of ice crystals that build up snow cover) are described on a qualitative level. It is possible to make quantitative estimation of the snow cover structure from the photos of the ice crystals. The work purpose is to describe a technique of definition of the form category and ice crystals size of ice from the photos and computer. Purpose of classification is pattern recognition.

Key words: alphabet of features, glossary of features, pattern recognition, image segmentation, constructive metamorphism, ice crystals, snow cover.

При прогнозе снежных лавин, искусственном спуске лавин, расчете несущей прочности снежной толщи для оценки ее проходимости транспортными средствами, а также скорости снеготаяния для выявления характеристик половодья необходимо определить структуру снежной толщи и ее слоев. Структура – один из основных управляющих параметров в системе «снежная толща» [1, 2], а ее изменение в процессе метаморфизма снежного покрова приводит к изменению многих физических характеристик толщи. Однако визуальное описание ее структуры (формы и размера ледяных кристаллов) во многом субъективно. Отсутствие методологии количественного описания не позволяет перейти к математическим методам расчета параметров структуры снежной толщи и использовать характеристики структуры при математическом моделировании снежной толщи. Кроме того, качественная характеристика недостоверна, невозможно сравнивать результаты исследований. Использование единых методических подходов к наблюдению и описанию структуры снежной толщи (в частности, международной классификации снега [7]) позволяет решить проблему только частично. При этом определение структуры в стратиграфической колонке снежного покрова во многом зависит от наблюдателя, у исследователей, использующих чужие материалы, нет возможности для собственной интерпретации данных. Таким образом, дальнейшее изучение процессов, происходящих в снежной толще, невозможно без разработки методов формализованного описания ее структуры.

На сегодняшний день наиболее удачную морфогенетическую классификацию структуры и методологию ее определения, позволяющую прогнозировать изменения снежной толщи, создал Э.Г.Коломыц [3, 4]. Однако и она предлагает качественное, т.е. субъективное,

КОНОНОВ Иван Андреевич – ведущий инженер (Сахалинский филиал Дальневосточного геологического института ДВО РАН, Южно-Сахалинск). E-mail: kononov-ia@yandex.ru

описание, поскольку определение формы и размера ледяного кристалла выполняется визуально в шурфах либо по фотографиям.

Для большей объективности материалов мы используем макрофотографирование ледяных кристаллов из каждого снежного слоя (рис. 1), затем обрабатываем снимки и по выборке не менее чем из 20 кристаллов определяем преобладающий тип структуры, средний и максимальный размеры кристаллов. Прилагаемые к стратиграфической колонке фотографии позволяют использовать материалы наблюдений другим исследователям. Но и такая методика дает скорее качественное, чем количественное, описание, поскольку определение формы и размера ледяного кристалла не формализовано. Необходима методика количественного определения структуры ледяного кристалла по фотографиям.

Попытка разработать формализованную методику определения структуры ледяных кристаллов предпринята в работе [6], где характеризуются несколько методов анализа структуры кристалла льда по цифровым снимкам. Авторы рассматривают отдельные изображения кристаллов, подразумевая, что все необходимые преобразования, такие как подавление шума, сегментация с выделением контура, на цифровой фотографии уже выполнены. Однако сама проблема сегментации изображений нетривиальна и для каждой новой задачи классификации объектов на изображении требует отдельного исследования. Кроме того, определение формы кристалла авторы основывают на анализе контура проекции кристалла на двумерную плоскость, а многие классовые признаки напрямую связаны с формой граней или степенью прозрачности кристалла. Очевидно, что эту информацию из анализа только контура проекции получить невозможно. Следует также отметить, что в работе [6] для анализа формы кристаллов применяли пакет программ MATLAB, работа с которым, во-первых, требует определенных навыков, а во-вторых, сводит на нет эффект автоматизации классификации, поскольку необходимо деятельное участие пользователя в процессе, что не позволяет рассматривать предлагаемую методику как вполне формализованную, так как не выводит решение задачи за рамки экспертного заключения.

Мы полагаем, что задачу определения структуры снежного покрова по фотоснимкам с помощью ЭВМ вполне можно отнести к задачам распознавания образов. В общем случае она решается в четыре этапа:

1) предварительная обработка изображения – подавление шума, контрастные преобразования, изменение режима изображения, цветового баланса;

2) сегментация – выделение на фотографии отдельных объектов (кристаллов льда) или групп объектов (ледяных кластеров) как важный этап на пути разработки классификатора;

3) выделение и описание признаков объектов (ледяных кристаллов), которые можно выразить количественно на основе анализа фотоснимков, и классов объектов для последующей классификации;

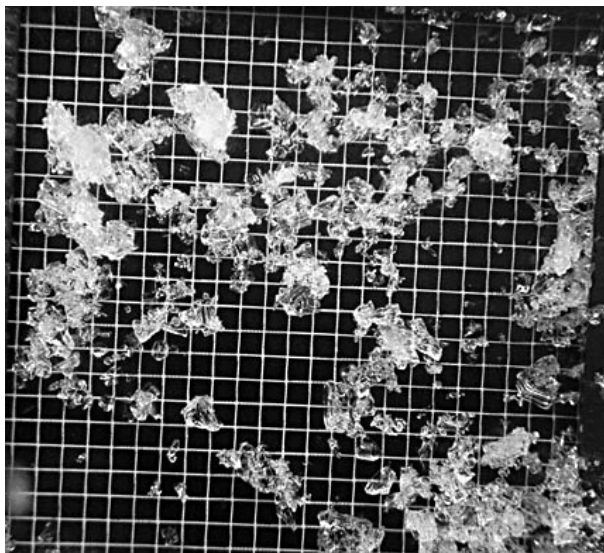


Рис. 1. Ледяные кристаллы из снежного слоя 0–7 см, шурф № 5ГП. 19.01.2010 г.

классов осевое отношение $c/a > 1$, для плоских $-c/a < 1$, где c – ось симметрии большего основания кристалла, a – вертикальная ось.

Макроступенчатость наиболее ярко выражена у скелетных форм кристаллов, у полускелетных и пластинчатых – слабо, у секториальных – фрагментарно по боковым граням, у гранных форм она отсутствует. Глубокие полости наблюдаются у столбчатых кристаллов полускелетного ($< 1/3$ объема кристалла) и скелетного ($> 1/3$) классов форм. У секториальных и пластинчатых форм прозрачность низкая. Все эти признаки понятны человеку, однако для машинного распознавания необходимы их численные или алгоритмические эквиваленты. Для определения макроступенчатости на гранях необходимо проводить сегментацию каждого отдельного кристалла с тем, чтобы выявить области, которые можно было бы классифицировать как ступени. То есть решить задачу распознавания для каждого отдельного кристалла. Анализ фотографий показал, что основным диагностическим признаком ступени является резкий перепад цветов (с почти белого на цвет подложки). Если количество ступеней (резких перепадов) достаточно велико, то кристалл можно классифицировать как скелетный или полускелетный (рис. 3). Для каждой выборки среднее количество ступеней на кристаллах разных классов форм неодинаково, поэтому решение о его принадлежности к тому или иному классу следует принимать на основе анализа всех кристаллов выборки (несколько фотографий на каждый слой). Выраженность макроступенчатости определяется по степени резкости перепадов цветов на ступени. Так, менее резкий перепад соответствует кристаллам полускелетного класса форм.

Степень прозрачности определяется из сравнения цвета подложки и кристалла. Чем они ближе, тем выше прозрачность, и наоборот. Исключение составляют случаи, когда кристалл расположен одним из ребер к объективу фотоаппарата (в области ребра прозрачность резко падает) и когда объекты перекрывают друг друга. В первом случае области с низкой прозрачностью следует распознавать как ребро и не учитывать их при сравнении цветов. При перекрытии следует исключить перекрываемый кристалл из процесса классификации, поскольку неполная картина отдельного элемента может негативно повлиять на результат классификации в целом. Технически степень прозрачности удобно определять на основе сравнения гистограмм фона и кристалла. Если гистограмма последнего в области цветов, близких к черному, похожа на гистограмму фона, то кристалл можно считать достаточно прозрачным. Если же гистограммы существенно различаются, то кристалл – мутный и с большой вероятностью находится на регрессионной стадии (рис. 4).

Соотношение осей – наименее удобный для машинного распознавания признак, поскольку кристаллы на фотографии ориентированны произвольно. И практически сложно определить основания и боковые грани.

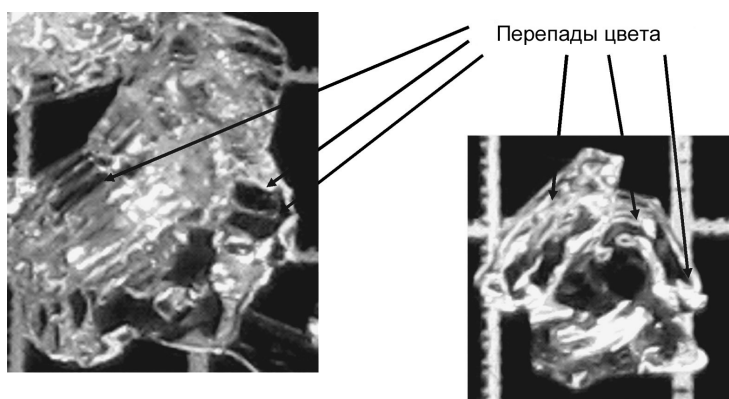


Рис. 3. Перепады цвета на гранях как признак макроступенчатости

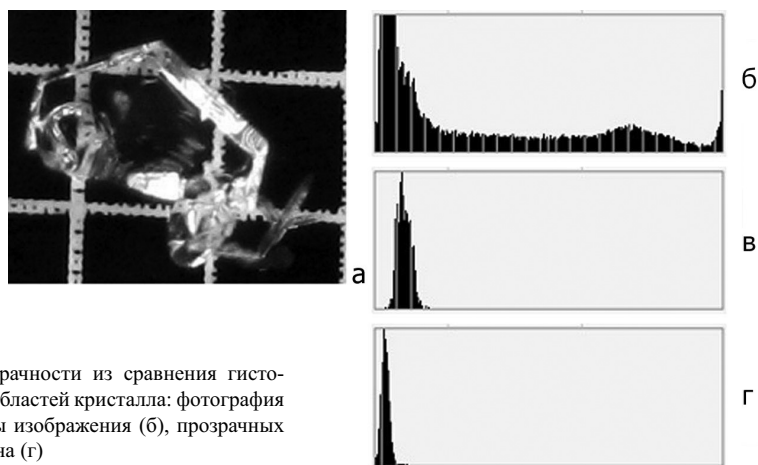


Рис. 4. Определение прозрачности из сравнения гистограмм фона и прозрачных областей кристалла: фотография кристалла (а), гистограммы изображения (б), прозрачных областей кристалла (в), фона (г)

Для увеличения количества возможных признаков можно использовать различия между группами классов. Например, для каждой отдельной выборки кристаллы скелетных и полускелетных форм крупнее кристаллов гранных, секториальных и пластинчатых форм.

Для разработки программ-классификаторов в настоящее время используется множество подходов и алгоритмов. Все они делятся на детерминистские (решающие функции, алгоритмы кластеризации, нейронные сети) и статистические (байесовский классификатор, минимаксный критерий, критерий Неймана–Пирсона). Основная задача – подобрать и адаптировать наиболее подходящий из них, однако она может быть решена только после окончательной формализации всех классовых признаков.

На первом этапе разработки программы-классификатора структуры снега (формы и размера ледяных кристаллов) удалось выработать методику получения наиболее подходящих для распознавания снимков, подобрать и адаптировать алгоритмы сегментации полутонированных изображений, а также описать некоторую формальную модель структуры снежной толщи.

Для окончательного решения обозначенной задачи необходимо разработать эффективный алгоритм классификации кристаллов льда по фотоснимкам и, соответственно, программу-классификатор.

При стратиграфических наблюдениях в снежной толще исследователям необходимо фотографировать ледяные кристаллы из каждого снежного слоя и прилагать эти фотографии к стратиграфической колонке. Это позволит существенно расширить исследовательскую базу исходных материалов о структуре снежной толщи для сообщества специалистов, изучающих снежный покров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гляциологический словарь / под ред. В.М.Котлякова. Л.: Гидрометеониздат, 1984. 527 с.
2. Казаков Н.А. Фрактальная размерность текстуры снежной толщи // Уч. зап. Сах. гос. ун-та. Вып. 2. Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ, 2001. С. 57-62.
3. Коломыц Э.Г. Методы кристалло-морфологического анализа структуры снега. М.: Наука, 1977. 199 с.
4. Коломыц Э.Г. Структура снега и ландшафтная индикация. М.: Наука, 1976. 206 с.
5. Лепский А.Е., Броневиц А.Г. Математические методы распознавания образов. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. 155 с.
6. Bartlett S.J., Reuedi J.-D., Craig A., Fierz C. Assessment of techniques for analyzing snow crystals in two dimensions // Ann. Glaciol. 2008. Vol. 48. P. 103-112.
7. The International Classification for seasonal snow on the ground. Paris: UNESCO, 2009. 29 p.