

УДК 911.52

Ландшафтоведческий подход при дешифрировании космических снимков

А. Д. Федоровский¹, В. Т. Гриневецкий²,
Ю. В. Костюченко¹, А. Ю. Кувшинов¹

¹Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України, Київ

²Інститут географії Національної академії наук України, Київ

Надійшла до редакції 24.12.97

Розглядаються методичні питання визначення деяких гідроекологічних характеристик поліських ландшафтів на основі використання космічної інформації. Пропонується використовувати ландшафтознавчий підхід при дешифруванні матеріалів космічної зйомки. Для аналізу станів цих систем використана формальна класифікація ландшафних комплексів, яка ґрунтується на принципах модальної логіки теорії розмитих множин. Викладений підхід використано при дослідженні ділянки Чорнобильсько-Лютізького полігону. Отримані результати свідчать про перспективність запропонованого методу.

Многолетняя эксплуатация природоресурсных спутников Земли подтверждает эффективность использования дистанционных космических методов для оценки и контроля экологического состояния окружающей среды [4]. Опыт исследований свидетельствует, что наилучшие результаты достигаются при совместном использовании наземных наблюдений и космических снимков, когда последние выполняют роль реальной картографической основы, на которую экстраполируются результаты наземных измерений [1]. В связи с этим разработка комплексных методов оценки экологических характеристик природной среды является актуальной задачей.

Традиционные дистанционные методы исследования экологического состояния участков земной поверхности основаны на регистрации сигналов от оптически- и радиоактивных компонентов природной среды. Величина и спектр отраженного сигнала в этих диапазонах или собственного излучения в ИК-области спектра зависят от состояния исследуемой поверхности и служат информативными спек-

тральными признаками при дешифрировании космических снимков [5].

В отличие от традиционных дистанционных методов экологической оценки регионов по отдельным спектральным признакам предлагается использовать принципиально иной и более эффективный системный подход к решению этой задачи, в основу которого положен ландшафтоведческий метод оценки экологических характеристик природной среды [3].

Ландшафтоведческий анализ местности по совокупности признаков, которые уверенно дешифрируются на космических снимках (мезо- и микро-рельеф, участки ускоренного поверхностного стока, лесные массивы, сельхозугодья и луговая растительность, гидрографическая сеть, почвы, подверженные эрозии, дефляции и другим деструктивными процессам, зоны застройки и т. д.) и дополняются материалами наземных и подспутниковых измерений (топографические карты и фотопланы, заверка космической информации на специальных тестовых участках и географических стационарах)

позволяет определить ряд основных экологических характеристик региона [7].

Рассматривая природную систему как целое, мы получаем представление о характере протекания (качественно и количественно) ландшафтообразующих процессов. Это позволяет сделать вывод о распределении структурно-динамических, экологических и ресурсных характеристик природных систем (ландшафтных комплексов). Задача состоит в определении характеристик природных систем и предсказании их поведения в экстремальных ситуациях в основном по неполному набору информативных признаков. Последние являются совокупностью данных дистанционного зондирования и наземных измерений на репрезентативных тестовых участках.

Такого рода анализ строится на базе формализованных представлений и предполагает формирование и исследование многомерных моделей ландшафтных комплексов в рамках теории модальных (нечетких) множеств для получения корреляционных зависимостей экологических характеристик от структурно-функциональных особенностей ландшафтных комплексов.

В качестве основы анализа предлагается следующая формальная классификация природных образований. *Природный объект* — сингулярное структурное образование, физические процессы в котором, без значительной потери точности, можно считать протекающими практически идеально. *Природная подсистема* — совокупность структурных образований (например, объектов), генетически объединенных протекающими в них физическими процессами, которые находятся во взаимобусловленной связи. *Природная система* — иерархическая совокупность структурных образований (подсистем), определяемая участком земной поверхности, где на известном протяжении отвечающие ему части атмосферы, гидросферы и литосферы являются однотипными, связанными сходными взаимодействиями, и образуют поэтому единый, взаимообусловленный комплекс. Далее природная система анализируется как иерархия множеств с известными свойствами. В рамках этого метода разрабатываются предположения о характере множеств информативных признаков для классификации исследуемых участков земной поверхности по типам (типологическим подразделениям) ландшафтных комплексов.

Так, при решении гидроэкологических задач может быть использована взаимосвязь признаков, характеризующих основные типы ландшафтных комплексов исследуемого региона, с гидроэкологическими параметрами природной среды. К основным

параметрам, определяющим гидроэкологическую обстановку в регионе, относятся: уровень грунтовых вод, наличие подтопляемых территорий, влажность почвы.

В качестве примера применения рассматриваемого подхода было проведено исследование по оценке уровня грунтовых вод на Дымерском модельном участке территории Полесья в зоне Чернобыльско-Лютежского полигона. При этом учитывали, что по многим причинам полесские ландшафты принадлежат к наиболее сложным объектам космического мониторинга. В их числе — закрытость (залесенность) большей части (25—40 %) территории, тесные гидродинамические (гидравлические) связи и частое перемерзание разновеликих и во многих случаях разных по происхождению ландшафтных комплексов. Поэтому для полесских ландшафтов необходимо было разработать специальную методику ландшафтоведческого дешифрирования космических снимков, органически связанную с многолетними регулярными наземными наблюдениями за физическим состоянием ландшафтов.

В основу исследований и разработанной методики положена взаимосвязь параметров, характеризующих ландшафтный комплекс, с гидроэкологическими параметрами природной среды [2].

На основании анализа космического снимка исследуемый регион был разделен на несколько географически и гидроэкологически обособленных территориальных участков. Описание последних представлялось в виде набора записей, каждая из которых включала характеристики рельефа, гидрографической сети, почв, а также перечень лесной, луговой и сельскохозяйственной растительности с указанием занимаемых ими площадей.

Традиционно процедура классификации участков по типам ландшафтных комплексов производится специалистом высокой квалификации и весьма трудоемка. Поэтому была разработана методика и программа автоматического отнесения выделенных оператором-географом участков к конкретным типам ландшафтных комплексов.

При этом учитывалось то обстоятельство, что в естественных условиях существует значительное разнообразие видового состава растительности, почв, комбинаций рельефа и гидроэкологических условий, которые под влиянием внешних факторов непрерывно изменяют свою конфигурацию, состав и обуславливают плавный и непрерывный переход одного типа ландшафтного комплекса к другому, соответствующего новым условиям. В таких условиях необходимо применение такого экспресс-метода, который при классификации исследуемых участков позволял бы учитывать плавный и непрерыв-

ный переход одного типа ландшафтного комплекса в другой. Такого рода анализ строится на базе принципов модальной логики — теории размытых множеств, ибо одинаковые характеристические признаки могут принадлежать различным типам ландшафтов. Это приводит к необходимости задания многомерных описательных моделей, в которых множества характеристических признаков являются пересекающимися. Иначе говоря, задача создания корректных замкнутых моделей ландшафтных комплексов подразумевает использование модальной логики, позволяющей без значимых ограничений оперировать множествами параметров. Для описания задачи классификации субсистем и объектов внутри систем, а также соотнесения информативных признаков субсистем к их искомым физическим характеристикам воспользуемся некоторыми общими определениями. Будем понимать под глобальным множеством идентификационных признаков полный набор морфологических характеристик всех ландшафтных комплексов, представленных в исследуемом регионе, включая возможность ошибочной идентификации признака («шум»), которые могут быть определены путем дешифрирования дистанционных изображений и обработки априорной информации. Набор морфологических признаков конкретного ландшафтного комплекса будем называть его подмножеством идентификационных признаков. Совокупность гидроэкологических, гидрогеологических, литологических и других характеристик ландшафтных комплексов будем называть множеством обобщенных характеристик.

В алгоритм программы заложена априорная информация в виде численных моделей о принятой в географии классификации ландшафтных комплексов по типам, а также информация о соответствии такой гидроэкологической характеристики, как уровень грунтовых вод, типам ландшафтных комплексов. В качестве математических моделей ландшафтных комплексов используются многомерные теоретико-множественные объектноориентированные модели ландшафтных комплексов в рамках методов теории модальных (нечетких) множеств для получения корреляционных зависимостей многопараметрического описания ландшафтного комплекса с гидроэкологической характеристикой исследуемой территории.

Полученные оператором описания участков исследуемой территории образуют базу данных для последующей машинной обработки. Таким образом определяется набор характеристических параметров, позволяющий идентифицировать на космическом снимке соответствующие ландшафтные комп-

лексы. Задача теперь заключается в соотнесении множества обобщенных характеристик ландшафтных комплексов подмножествам идентификационных признаков этих комплексов, получаемых при обработке дистанционных изображений и наземных измерений, что, в первую очередь, предполагает получение вида распределения идентификационных признаков как внутри подмножества, описывающего заданный ландшафтный комплекс, так и внутри глобального множества идентификационных признаков.

Принятие решения о принадлежности того или иного участка к конкретному типу ландшафтного комплекса производится автоматически по максимальному значению оператора принадлежности после решения программой всех уравнений, описывающих математические модели ландшафтных комплексов.

Для проведения исследований использовалось изображение участка Чернобыльско-Лютетского полигона (рис. 1), полученное в результате синтеза трех космических снимков этой территории, выполненных в различных спектральных диапазонах аппаратурой спутника «Spot» 23.08.95 г. (исследуемый участок выделен рамкой).

С помощью специального программного обеспечения было произведено дешифрирование элементов ландшафтных комплексов (фаций, урочищ, местностей), а также дешифрирование неотектонических разломов методом создания системы линейных объектов, отражающих пространственное распределение линеаментов. Наземная информация в данном случае была представлена результатами многолетних измерений уровня грунтовых вод на четырех скважинах Дымерского исследовательского стационара Института географии НАН Украины. Отмеченным на рис. 1 скважинам — 1, 2, 3, 4, соответствуют уровни грунтовых вод: 16—17 м, 8—10 м, 6—8 м, 5—7 м. Дополнительной информацией служили топографические карты исследуемого региона. Они позволили получить схему овражно-балочной сети и цифровую модель рельефа исследуемого участка местности.

С помощью оригинального программного обеспечения на основании полученных данных была построена цифровая карта распределения углов наклона поверхности (рис. 2). Алгоритм построения карты состоял из нескольких этапов. Во-первых, по топографическим картам исследуемого региона строилась цифровая модель рельефа, представляющая собой регулярную сетку значений высот. Во-вторых, исследуемый регион разбивался на треугольные участки с вершинами в узлах сетки рельефа. В-третьих, для каждого участка исследуемой

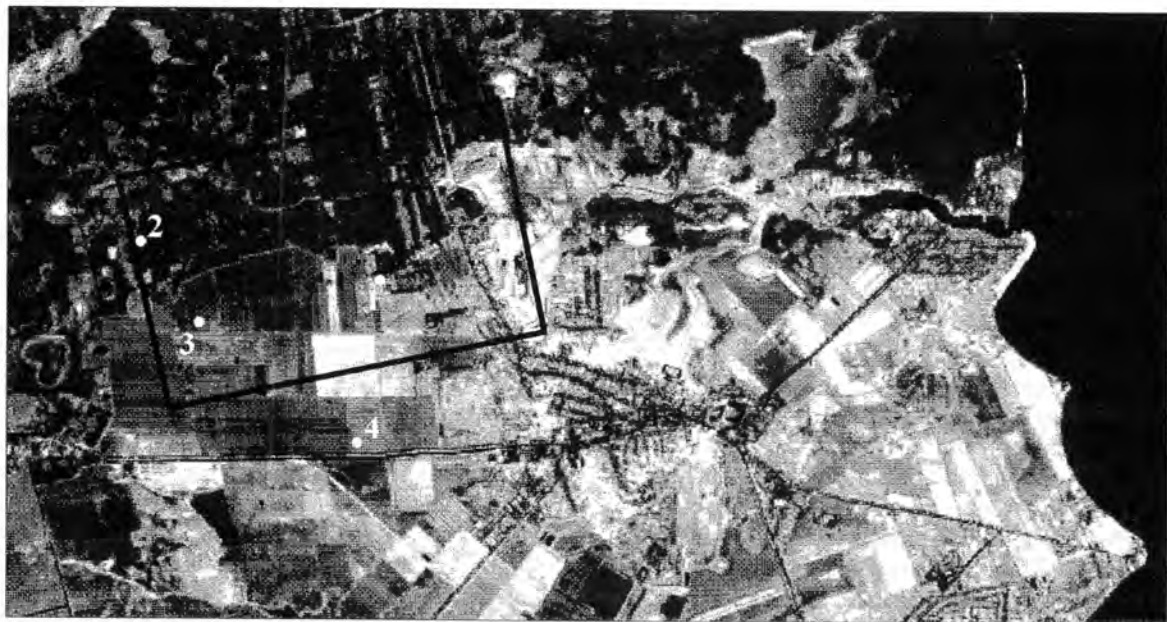


Рис. 1. Фрагмент космического снимка Дымерского полигона с тестовым участком и контрольными скважинами 1—4

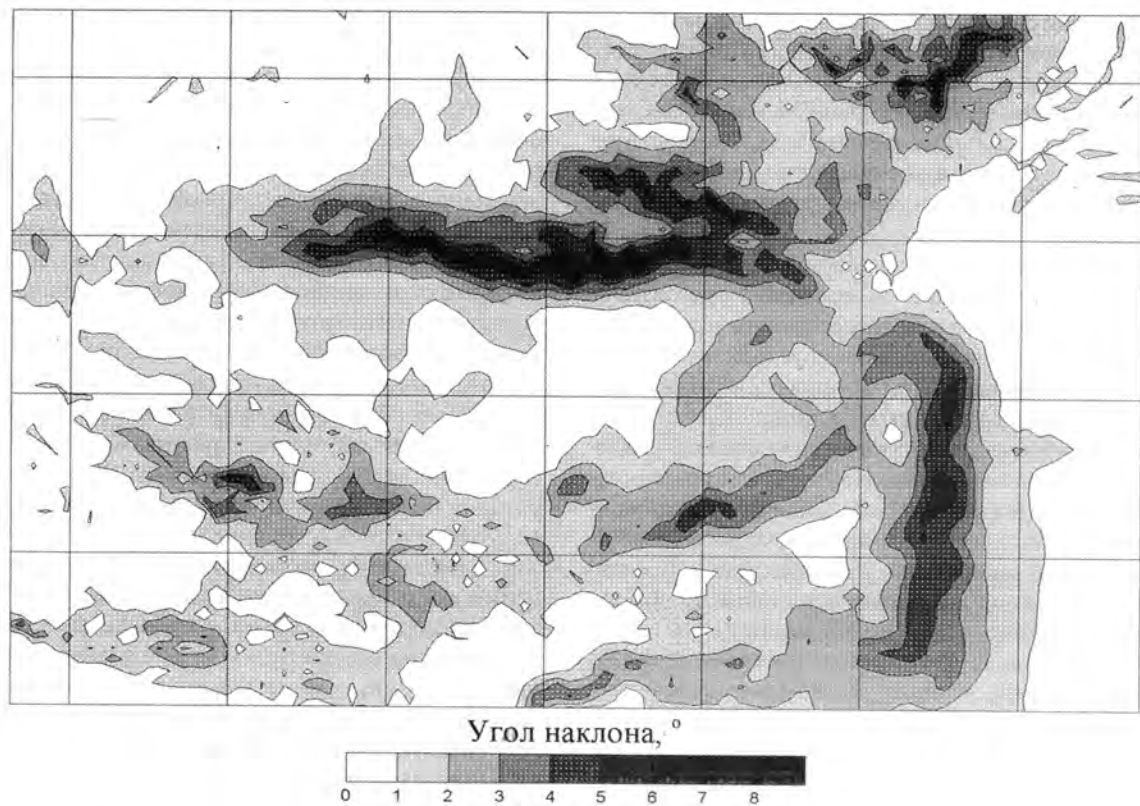


Рис. 2. Карта углов наклона поверхности участка Дымерского полигона

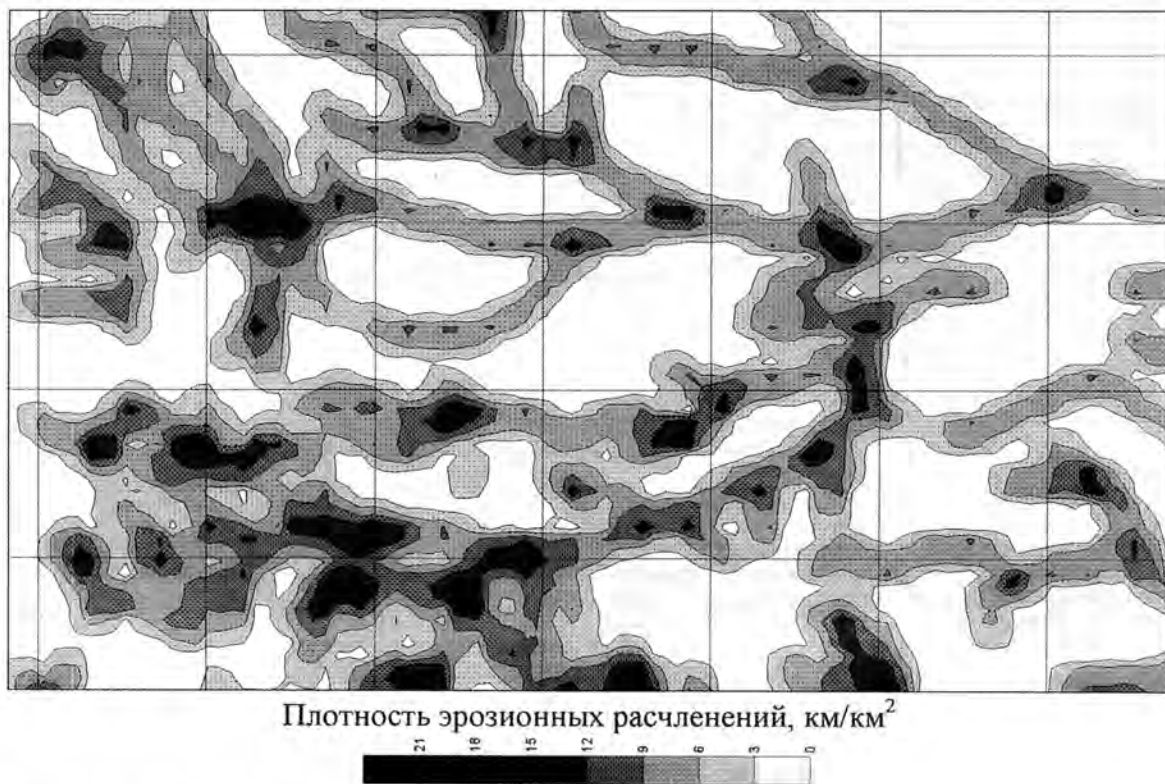


Рис. 3. Карта плотности эрозионных расчленений участка Дымерского полигона

поверхности вычислялся угол наклона его плоскости относительно горизонта с приписыванием полученного значения центру участка. Построенная по этим данным карта углов наклона поверхности в дальнейшем была использована для определения крутизны склонов при ландшафтной типологии.

Построение карты эрозионных расчленений (рис. 3) было проведено на основе использования линеamentного анализа. Линеamentный анализ производился с помощью специализированного программного обеспечения, разработанного для этого случая. Анализировалось распределение протяженных линейных структур, которые выделяются на космическом изображении земной поверхности — линеamentов, связанных с овражно-балочной сетью. Работа производилась с компьютерным изображением исследуемого региона (в виде графического файла формата BMP). На первом этапе была проведена географическая привязка изображения (в прямоугольной системе координат). Далее, на основе экспертных оценок, производилось компьютерное дешифрирование овражно-балочной сети методом создания системы линейных объектов, отражающих пространственное распределение линеа-

ментов. В программный комплекс включены два вида анализа системы линеamentов: построение «розы векторов» линеamentов и вычисление плотности линеamentов.

«Роза» линеamentов представляет собой графическую диаграмму отражающую распределение линеamentов в зависимости от азимута. Диаграмма строится в диапазоне азимутов от -90° до 90° , с интервалом 1° . Длина каждого луча диаграммы представляет собой суммарную длину линеamentов в данном диапазоне азимутов нормированную по максимальному значению. «Роза» линеamentов использовалась для определения преобладающих направлений линеamentов в исследуемом регионе. Под плотностью линеamentов подразумевается суммарная длина линеamentов на единице площади. Полученная информация в дальнейшем использовалась для построения карт плотности трещиноватости с помощью соответствующего программного обеспечения. Все эти данные были представлены в виде отдельных слоев в ГИС-модели исследуемого региона, которые использовались в качестве информативных признаков при решении задачи классификации выделенных участков по типам ландшаф-

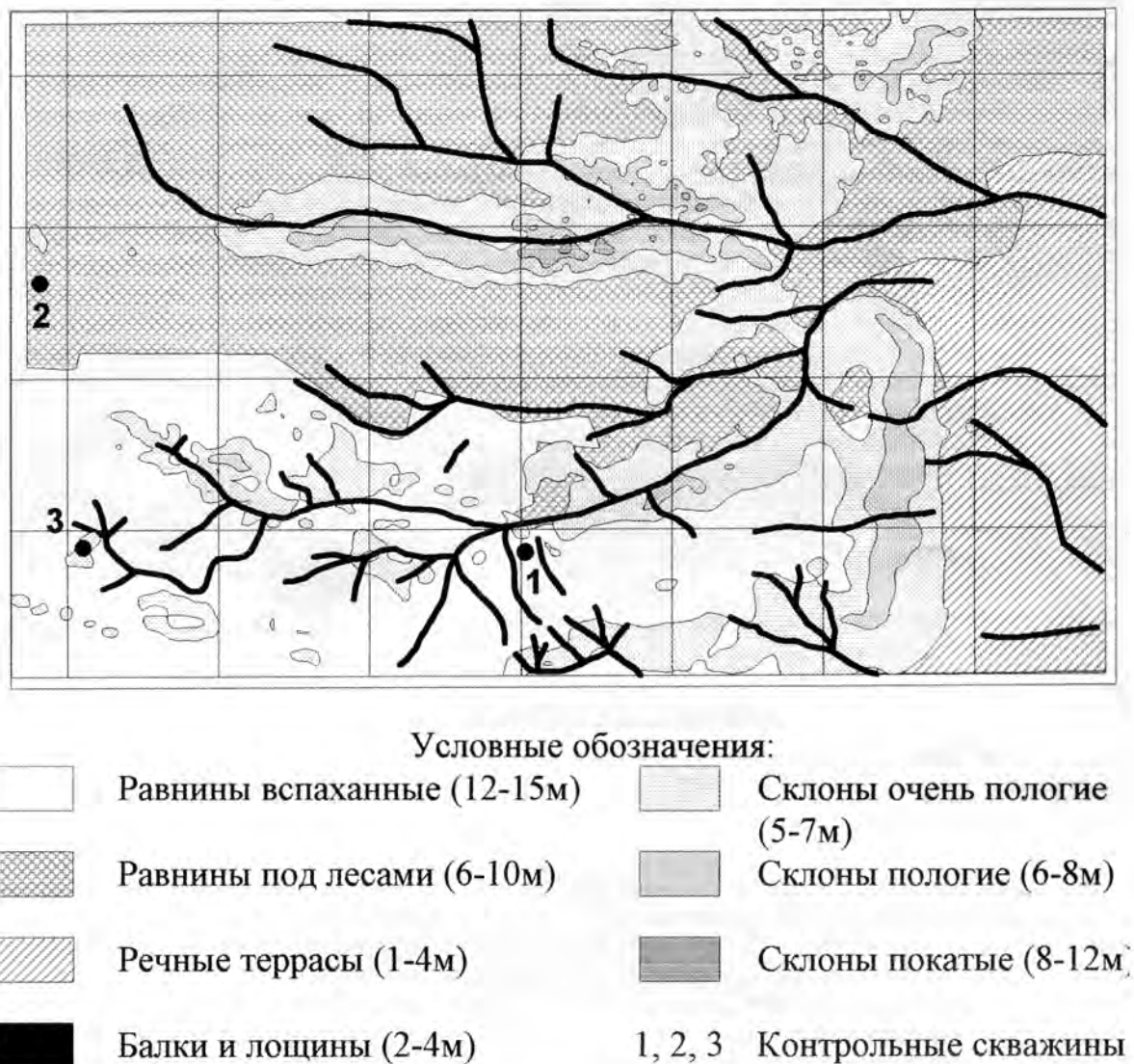


Рис. 4. Ландшафтные комплексы с оценкой уровня грунтовых вод

тных комплексов. Анализ последних производился на основе ландшафтной классификации, разработанной в Институте географии НАН Украины. В рамках описанной методики на выделенной территории по наборам идентификационных признаков было проанализировано 30 участков местности, которые были классифицированы как семь типов ландшафтных комплексов (равнины вспаханные — уровень грунтовых вод 12—15 м, равнины под лесами — 6—10 м, речные террасы — 1—4 м, балки и лощины — 2—4 м, склоны очень пологие — 5—7 м, склоны пологие — 6—8 м, склоны покатые — 8—12 м), что позволило получить

оценки уровня грунтовых вод в исследуемом регионе.

На рис. 4 показан результат классификации ландшафтных комплексов исследуемой территории. Сравнивая значения уровня грунтовых вод, полученные в результате описанного эксперимента, с измеренными в тот же период на стационарных скважинах полигона, можно констатировать, что расхождения не превышают 20—30 %.

Приведенные результаты позволяют сделать вывод о перспективности предложенного метода. Последний может служить основой создания экспертных систем для выявления общих тенденций изме-

нений одной из основных гидроэкологических характеристик природной среды — уровня грунтовых вод. Такие экспертные системы могут использоваться, например, в рамках ГИС-технологий. Кроме того, такой подход позволяет при построении и исследовании моделей природной среды использовать синергетические принципы, что делает возможным прогнозирование поведения исследуемых систем при неполном наборе информативных признаков.

1. Гриневецкий В. Т., Сахацкий О. І., Федоровський О. Д. та ін. Використання тестових ділянок Димерського дослідницького полігону для верифікації результатів космічних зйомок // Укр. географ. журн.—1997.—№ 2.—С. 39—43.
2. Дьяконов К. Н., Касимов Н. С., Тикунов В. С. Современные методы географических исследований. — М.: Просвещение, 1996.—204 с.
3. Исаченко А. Г. Основы ландшафтоведения и физико-географическое районирование. — М.: Высш. шк., 1965.—326 с.
4. Кондратьев К. Я., Поздняков Д. В. Новое в дистанционном зондировании окружающей среды // Исслед. Земли из космоса.—1996.—№ 1.—С. 107—121.

5. Лялько В. И. Вульфсон Л. Д., Жаров В. Ю. и др. Аэрокосмические методы в геоэкологии. — Киев: Наук. думка, 1992.—206 с.
6. Лялько В. І., Маринич О. М., Федоровський О. Д. Аерокосмічні дослідження ландшафтних комплексів України // Укр. географ. журн.—1994.—№ 4.—С. 3—8.
7. Преображенский В. С., Александрова Т. Д., Куприянова Т. П. Основы ландшафтного анализа. — М.: Наука, 1988.—189 с.

LANDSCAPE-INVESTIGATION APPROACH IN DECODING SPACE IMAGES

A. D. Fedorovskiy, V. T. Grinevetskiy,
Yu. V. Kostiuchenko, and A. Yu. Kuvshinov

The problem of determination of ecological and hydrologic characteristics of territories on the basis of space information is considered. We offer to use the landscape-investigation approach in decoding and interpretation of space images. As a basis for the analysis we propose a formal classification of natural formations which is built on the principles of modal logic and the theory of fuzzy sets. The territory of Chernobyl — Lutezh region is studied within the framework of the described approach. The results obtained allow the conclusion about perspectives of the method proposed.