

4. Математическое обеспечение ЕС ЭВМ. Вып. 25. Минск, 1980. 186 с.

5. Иберла К. Факторный анализ. М.: Статистика, 1980. 398 с.

6. Мардиа К. Статистический анализ угловых наблюдений. М.: Наука, 1978. 240 с.

7. Спириг Л. Н. Морфотрещиноватость бассейна средней Камы//Вопросы ландшафтоведения, геоморфологии и исторической географии. Уч. зап. Пермь, 1970. № 230. С. 98.

Московский государственный университет
Геологический факультет

Поступила в редакцию
18.III.1986

AZIMUTH MEASUREMENTS PROCESSING BY MEANS OF FACTOR ANALYSIS AS APPLIED TO ESTIMATE INTERRELATIONS OF KARST FORMATION NATURAL CONDITIONS

PRILEPIN V. M.

Summary

Azimuths of surface runoff direction, surface slope towards reservoir and river as well as slope of the Artian topographic surface were measured and treated by means of the factor analysis with the aim to study interrelations between the natural factors of the karst formation within the zone of Kama reservoir influence. The results were processed using operational-area units (plots of 0,5 sq.km area, evenly distributed over the region). The possibility is argued to use for angular measurements (case of monomodal distribution) common linear characteristics of distribution if two semi-intervals of azimuth changes are considered (0° to 180° and 180° to 360°). Factor analysis of interrelation between the karst development index and azimuths in different semi-intervals revealed a stable correlation with azimuth of the Artian surface slope, which reflected the tectonic fissures direction influence on the surficial karst forms distribution.

УДК 551.4 : 528.88

РЕВЗОН А. Л.

ИНДИКАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ КОСМИЧЕСКИХ ФОТОСНИМКОВ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОМОРФОЛОГИИ

Опыт проектирования и строительства таких крупных линейных сооружений, как БАМ, газо- и нефтепроводы, системы каналов перераспределения стока рек, ЛЭП большого протяжения, охватывающие крупные регионы, показал, что арсенал традиционных методов инженерных изысканий не в состоянии в короткие сроки обеспечить полноту и качество информации о природных условиях, необходимые для принятия обоснованных проектных решений. В этой связи геологи-изыскатели стали использовать геоморфологические методы, обеспечивающие инженерную оценку территорий с точки зрения возможности размещения на них сооружений и создания безопасных условий их строительства и эксплуатации. Именно поэтому в науке оформилось самостоятельное направление — инженерная геоморфология [1—6], роль которой в ближайшее время возрастет в связи с началом внедрения в практику инженерных изысканий дешифрирования материалов космической съемки (МКС), которое осуществляется главным образом с индикационно-геоморфологических позиций, а следовательно, является геоморфологическим методом исследований. Индикационным оно является потому, что в отличие от решения общегеоморфологических задач, связанных с изучением рельефа Земли, его морфологии и морфометрии, генезиса, возраста и истории развития, инженерная геоморфология изучает рельеф с позиций оценки его инженерных свойств и влияния последних на сооружения как в процессе их строительства и эксплуатации, так и при их

размещении до начала строительства. А эта задача относится к области прогнозирования и решается путем индикационного дешифрирования через установление взаимосвязей в системе: морфотектоника — морфолито-логия — морфодинамика — инженерные сооружения. Однако широкое внедрение метода дешифрирования МКС в практику инженерных изыска-ний сдерживается в связи с отсутствием обобщающих работ в обла-сти геоморфологического дешифрирования, в которых рассматривались бы теоретико-методические основы и сфера применения МКС в структуре и технологии инженерных изысканий.

Дистанционная геоморфология имеет более чем 40-летнюю историю. Накоплен большой опыт в области геоморфологического дешифрирова-ния как аэро-, так и космических фотоснимков, выполнявшегося для решения задач картографирования рельефа, поисков полезных ископае-мых, решения теоретических и методических задач [7—12]. Однако поч-ти нет работ по инженерной интерпретации данных дешифрирования космических фотоматериалов, т. е. инженерной оценки рельефа в связи со строительством сооружений различного типа. Поэтому главной зада-чей сегодняшнего дня в рассматриваемом направлении исследований следует считать разработку научных основ индикационного дешифриро-вания МКС в инженерной геоморфологии.

В настоящей статье излагаются результаты экспериментальных ис-следований автора 1977—1984 гг. Их анализ позволил сформулировать и обосновать новую научную концепцию индикационного анализа МКС в инженерной геоморфологии — космофотоиндикационный анализ, ба-зирующийся на основных положениях индикационного анализа аэро-фотоснимков, разработанных С. В. Викторovým и Е. А. Востоковой [12, 13], но имеющий свои специфические особенности и отличия, связанные со свойствами МКС. В основе этой концепции лежит исследование из-менчивости индикационных свойств фотоизображений рельефа на раз-личных уровнях оптической генерализации. Опыт дешифрирования МКС различных уровней показал, что при переходе с одного уровня на дру-гой изменяются не только рисунок и структура фотоизображений, но и содержание природных факторов и компонентов, их обусловивших, а следовательно, и содержание индикаторов инженерно-геоморфологиче-ских условий, объектов индикации, характера их связей и путей прак-тического применения получаемых при дешифрировании информации. С этим связывается формирование трех способов индикационного де-шифрирования МКС: **эндоморфогенного, экзоморфогенного и фитоэкзо-морфогенного** — на трех масштабных уровнях МКС: мелко-, средне- и крупномасштабном. Комплексное распознавание МКС на всех трех уров-нях составляет основу дешифровочного процесса. Последнее связано с тем, что дешифрирование какого-либо геоморфологического объекта по МКС одного масштабного диапазона обеспечивает получение лишь опре-деленной части информации, использование которой может быть вполне достаточно для решения какой-то одной или нескольких инженерно-гео-морфологических задач, но крайне недостаточно для комплексного ин-женерно-геоморфологического анализа. В связи с этим космофотоинди-кационный анализ проводится по трем направлениям, каждое из которых, являясь составной частью единого, последовательно осуществ-ляемого дешифровочного процесса, дополняет друг друга, но характе-ризуется своими чертами: комплексом фотоматериалов по масштабу и пространственному разрешению на местности, принципами и методиче-скими приемами проведения, перечнем решаемых задач. В основу этих направлений положены три вышеназванных способа индикационного де-шифрирования инженерно-геоморфологических объектов (табл. 1).

Эндоморфогенная индикация. Под эндоморфогенной индикацией мы понимаем распознавание особенностей пространственного положения элементов морфотектоники регионов и оценку их связи с природными факторами, обусловившими современный плановый рисунок морфострук-туры этих регионов. Она осуществлена на основе анализа инженерно-геоморфологических объектов, отражающихся на **мелкомасштабных**

Способы космофотоиндикационного анализа в инженерной геоморфологии

Способ индикационного анализа	Масштабный диапазон МКС	Фактор, формирующий рисунок фотоизображения	Индикаторы	Объекты индикации	Пути применения получаемой информации
Эндоморфогенный	Мелкомасштабный	Морфоструктура	Рисунок и конфигурация линеаментов, связанных с разрывной тектоникой, и их систем	Наличие зон разуплотнения горных пород и связанных с ними участков повышенной морфодинамической активности	Районирование территорий предполагаемого строительства с выделением участков, неблагоприятных для хозяйственного освоения в целях обоснования выбора направлений трасс линейных сооружений
Экзоморфогенный	Среднемасштабный	Морфоскульптура	Рисунок и конфигурация участков локализации экзогенных форм рельефа	Морфолитологические, морфодинамические и гидрогеологические условия развития экзогенных процессов на больших площадях	Специальная инженерно-геоморфологическая оценка морфолитологических и морфодинамических условий в районах проложения трасс линейных сооружений путем картографирования для обоснования проектных решений по размещению инженерных сооружений, в том числе индивидуального проектирования (мосты, тоннели, станции, водохранилища и т. п.)
Фитоэкзоморфогенный	Крупномасштабный	Сочетание особенностей растительного покрова и рельефа при ведущей роли последнего	Рисунок и конфигурация систем элементарных ландшафтных комплексов	Стадии развития и морфодинамическое состояние элементов и форм рельефа, создаваемого экзогенными процессами, морфолитологические и гидрогеологические условия их активности	Изучение динамики инженерно-геоморфологических условий, оценка их изменений под влиянием строительного процесса с целью разработки рекомендаций по обеспечению устойчивости инженерных сооружений

Таблица 2

Двухступенчатая структура эндоморфогенной индикации

Порядок индикаторов	содержание индикаторов	Объекты индикации для целей инженерной геоморфологии
I	Пространственные особенности морфоструктур и их элементы Плановый рисунок гидрографической сети	1. Границы геолого-структурных и морфолитологических зон и отвечающих им формаций горных пород 2. Линеаменты и узлы их пересечения, связанные с дизъюнктивной тектоникой
II	Линеаменты, связанные с разрывной тектоникой, и их системы	1. Границы районов проявления экзогенных процессов, неблагоприятных для хозяйственного освоения территорий, в пределах которых возможно возникновение критических ситуаций в инженерно-строительной обстановке

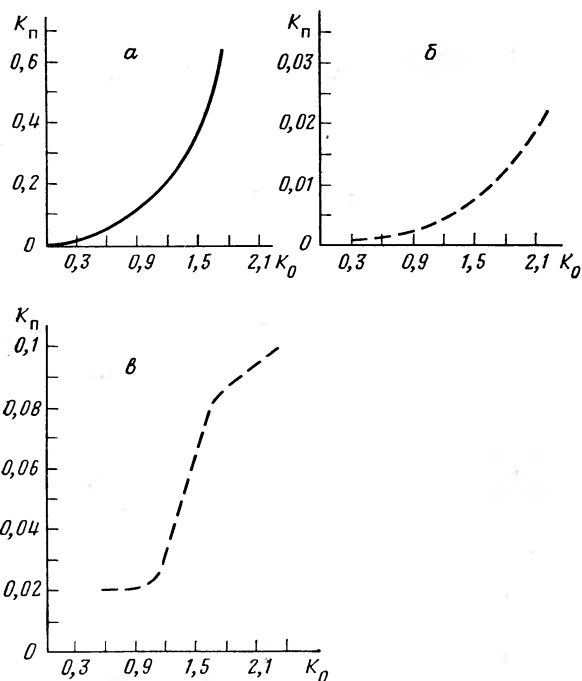


Рис. 1. Графики зависимости пораженности территорий экзогенными процессами от степени их тектонической раздробленности

a — оползней и обвалов в районе предполагаемого строительства Кавказской перевальной железной дороги; *б* — наледей подземных вод в районе строительства железной дороги Беркабит—Якутск; *в* — суффозионно-просадочных явлений в районе мелиоративного строительства на территории Южно-Тургайской впадины Казахстана. Графики построены по усредненным значениям: K_0 — показателя тектонической раздробленности; K_1 — показателя пространственной пораженности территории проявлениями экзогенных процессов

МКС. Наиболее физиономичным элементом рисунка мелкомасштабных фотоизображений являются линеаменты и их системы, расчленяющие массивы горных пород на блоки, анализ конфигурации которых позволяет определять морфологические и морфодинамические условия крупных по площади территорий с точки зрения возможности размещения в их пределах инженерных сооружений. Дешифрирование имеет при этом двухступенчатую структуру, опирающуюся на использование индикаторов двух порядков, что обосновывает следующую модель: элементы морфотектоники — инженерно-геоморфологические условия (табл. 2). Этот способ индикационного анализа состоит из четырех звеньев: дешифрирования разрывных нарушений, оценки достоверности дешифровочной информации, количественной обработки и специальной инженерно-геоморфологической интерпретации дешифровочных данных.

В области дешифрирования разрывных нарушений накоплен большой опыт, однако и здесь существуют нерешенные проблемы. Весьма важна оценка достоверности результатов дешифрирования линеаментов, а данных для этого крайне недостаточно и они имеют эпизодический характер. Практически нет работ, в которых выделяемые на снимках разломы классифицировались бы по их инженерной значимости, опасности для строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Автором проведено исследование этого вопроса и получены определенные результаты. Так, на примере строящихся тоннелей в горных районах Кавказа и в зоне БАМа были сопоставлены данные, полученные по МКС, в процессе изысканий, выполненных на всех этапах проектирования, и данные проходческих работ. Установлено, что достоверность дешифрирования составила 90—95%. В частности, при сопоставлении данных дешифрирования МКС с материалами инженерно-геологических изысканий, выполненных на этапе ТЭО строительства по трассе Перевального тоннеля

Кавказской перевальной железной дороги, из 23 разломов, дешифрованных на снимках, 21 подтвержден наземной инженерно-геологической съемкой. А по трассе Северо-Муйского тоннеля БАМа из 41 разлома, выявленного по данным дешифрирования, в процессе наземных изысканий подтверждено 40. По данным дешифрирования линейных элементов могут быть составлены специальные карты, обработка которых с применением методов математической статистики обеспечивает возможность районирования территорий предполагаемого строительства по степени их тектонической раздробленности [14]. Такие карты районирования можно рассматривать в качестве индикационной основы для выявления участков морфодинамической активности, связанной с локализацией в их пределах неблагоприятных для строительства экзогенных процессов: оползней, обвалов, карста, суффозионно-просадочных явлений, наледей, засоления. Для обоснования последнего проведена серия экспериментов по дешифрированию экзогенных процессов. Дана оценка пораженности ими территории и зависимости ее от степени тектонической раздробленности. Эксперименты проведены в Якутии при оценке наледной опасности, в Казахстане при изучении суффозионно-просадочных явлений, на Кавказе при оценке оползневой опасности. Во всех случаях максимальная пространственная пораженность территорий экзогенными процессами оказалась функционально связанной с максимальной для данных территорий степенью тектонической раздробленности (рис. 1). Установленные зависимости можно рассматривать в качестве теоретической основы пространственного прогноза развития экзогенных процессов в зависимости от степени тектонической раздробленности, поскольку последняя рассматривается в качестве индикатора пораженности территорий экзогенными процессами на МКС мелких масштабов, на которых формы проявления экзогенных процессов не отражаются.

Экзоморфогенная индикация. Под экзоморфогенной индикацией мы понимаем распознавание особенностей пространственного положения морфоскульптуры регионов и оценку его связи с природными факторами, обусловившими современный плановый рисунок последней. Это возможно с помощью МКС, на которых удастся проследить особенности пространственного положения различных форм морфоскульптуры на больших территориях, что позволяет выявить региональные закономерности развития экзогенных процессов более эффективно, чем по аэроснимкам. Экзоморфогенная индикация осуществляется на основе дешифрирования среднemasштабных МКС. В отличие от эндоморфогенного анализа, где в роли индикаторов выступают элементы морфотектоники, а в качестве одного из объектов индикации — участки локализации экзогенных форм рельефа, в процессе экзоморфогенного анализа индикационные связи приобретают обратный характер. Здесь в роли индикаторов выступают элементы морфоскульптуры, а в качестве одного из объектов индикации — морфоструктурные элементы. По результатам прямого дешифрирования экзогенных форм рельефа и их комплексов выполняется контурное дешифрирование участков локализации экзогенных процессов в пространстве путем выделения и оконтуривания различных типов группировок экзогенных форм рельефа по их плановой конфигурации. Последнее вносит новизну в геоморфологические исследования, так как ранее, до внедрения МКС, индикационное значение типов локализации экзогенных форм рельефа в пространстве исследовалось недостаточно полно. С целью выявления наиболее типичных группировок экзогенных форм рельефа и оценки их индикационного значения был проведен ряд экспериментов по дешифрированию последних в различных регионах и оценке его достоверности с помощью наземных работ. Эксперименты были проведены в горных районах Тянь-Шаня и Кавказа при изучении оползней, в равнинных условиях Казахстана на примере суффозионно-просадочных явлений и засоления грунтов, в Якутии на примере наледей. По результатам экспериментов выделено три наиболее общих типа пространственной локализации экзогенных форм рельефа: линейно-ориентированный, дугобразный и кольцевой, хаотичный. Сопоставление данных дешифрирования и наземных исследований показало, что в каждом

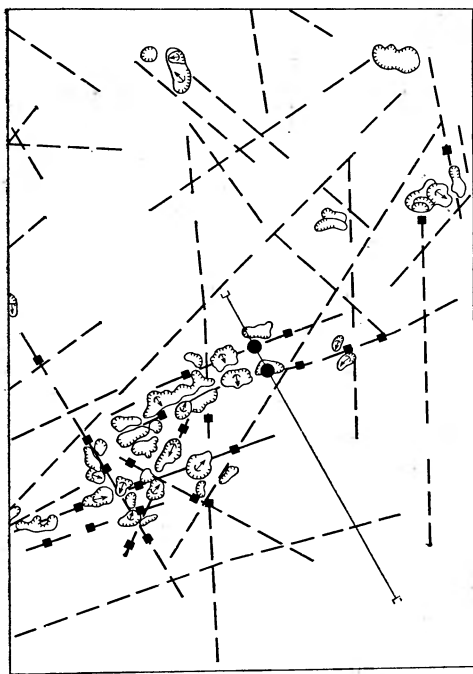


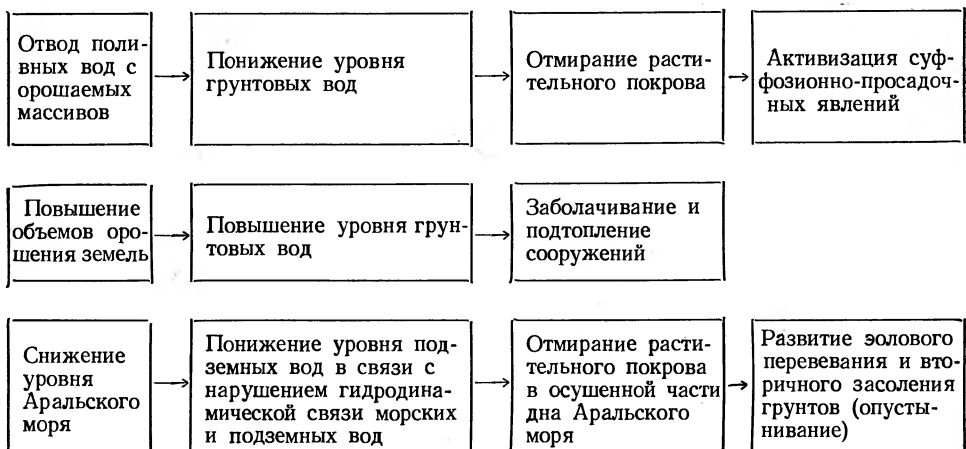
Рис. 2. Схема инженерной геодинамики района проложения трассы тоннеля (Кавказ). Составлена по данным дешифрирования МКС и наземных исследований Инженерная оценка разломов: 1 — активные разломы, выраженные в рельефе, подчеркиваемые локализацией в зонах дробления гравитационных форм рельефа (оползней, обвальных глыб) и выходами подземных вод; мощность зон дробления пород до 300 м; породы от сильнотрещиноватых до раздробленных, обводнены; при проходке возможны: горное давление (сотни т/м²), водопритоки в забое ($Q > 5$ м³/ч), вывалы, обрушение скальных и пучение набухающих пород; 2 — пассивные разломы, выраженные в рельефе фрагментарно, с отсутствием признаков современной морфодинамики, с мощностью зон дробления до 100 м; породы от слаботрещиноватых до трещиноватых, слабо обводнены; при проходке возможны: незначительное горное давление (десятки т/м²), капёж ($Q < 5$ м³/ч), вывалы отдельных обломков. Экзогенные процессы, неблагоприятные для строительства: 3 — оползни без признаков современных подвижек; 4 — движущиеся оползни. Строящиеся инженерные сооружения: 5 — тоннель; 6 — участки аварийных ситуаций, возникших при проходке тоннеля

конкретном случае тот или иной тип пространственной локализации экзогенных форм рельефа связан с различными факторами, но главным образом с влиянием разрывной тектоники, с литологическими особенностями горных пород, геоморфологическими и гидрогеологическими условиями. Причем для каждого типа пространственной локализации экзогенных форм рельефа характерен свой комплекс природных факторов, обусловивших его формирование и положение того или иного фактора в этом комплексе. Эксперименты обосновывают правомерность введения научного положения о типах пространственной локализации экзогенных форм рельефа как индикаторах неотектонических, литологических и гидрогеологических условий развития экзогенных процессов. Это научное положение является теоретической основой методических разработок по специальной инженерно-геоморфологической оценке морфолитологических и морфодинамических условий районов проложения трасс линейных сооружений, в частности по инженерно-геоморфологической оценке разрывных нарушений.

В понятие «инженерно-геоморфологическая оценка разрывных нарушений» мы вкладываем морфодинамические характеристики рельефа зон дробления горных пород, оказывающие влияние на условия строительства и эксплуатации сооружений. Выявление характеристик, отражающих морфодинамику рельефа, позволяет определить факторы, ее обусловившие, и дать прогнозную оценку степени опасности того или иного разлома для строительства. Последнее обосновано конкретным примером внедрения данного подхода при выявлении опасных для проходки тоннелей разломов в горных районах Кавказа (рис. 2). На основе выявленных особенностей пространственной локализации движущихся оползней и обвалов установлены зоны разломов, проходка которых может сопровождаться неблагоприятными для строительства горнотехническими условиями. Последующий опыт проходки этих зон подтвердил прогнозные данные.

Фитоэкзоморфогенная индикация. Под фитоэкзоморфогенной индикацией мы понимаем распознавание пространственных сочетаний рельефа и растительности и оценку их связи с природными факторами, обусловившими возникновение этих сочетаний. Фитоэкзоморфогенная индикация осуществляется по МКС крупных масштабов. Космофотоиндикация

Изменения инженерно-геоморфологических условий Южного Приаралья под влиянием мелиоративного воздействия на природную среду



онный анализ на данном уровне генерализации по принципам проведения аналогичен аэроландшафтной индикации, но все же имеет свои специфические отличия. Они заключаются в том, что основу рисунка фотоизображений на данном уровне формируют пространственные взаимосвязи между ландшафтами или их элементами при ведущей роли мезорельефа территории, а растительный покров определяет вариации в тональности и структуре изображения. Фитоэкзоморфогенный анализ МКС позволяет значительно расширить и детализировать перечень решаемых задач, что обеспечивает возможность перехода в дешифрировании от выявления статических ситуаций в инженерно-геоморфологической обстановке к оценке динамических состояний или стадий развития рельефа. Экспериментальные работы, проведенные нами в различных районах аридной зоны СССР, показали, что фитоэкзоморфогенный анализ в отличие от экзоморфогенного и эндоморфогенного обеспечивает выявление особенностей морфолитологических условий, определяющих морфодинамическую активность рельефа. К ним относятся обнаженность грунтов, подверженность их выветриванию и резкой изменчивости свойств (влажности, плотности, засоленности). Если при проведении экзоморфогенной индикации дешифровочный процесс опирается на распознавание особенностей пространственной локализации группировок экзогенных форм рельефа, то при проведении фитоэкзоморфогенной индикации возможности дешифрирования связаны с распознаванием не только наличия различных форм рельефа и их комплексов, но и с оценкой их динамики. Последнее важно при изучении активности экзогенных процессов, что позволяет в пределах участков их локализации выявить наиболее активные очаги. При этом в задачу фитоэкзоморфогенной индикации входит не столько определение изменений внешних особенностей ландшафтов, сколько выявление причин и факторов, их вызвавших. Это отчетливо прослеживается по результатам эксперимента, проведенного в Южном Приаралье, когда данная задача была решена на основе выявления взаимосвязей в природно-техногенных системах (табл. 3). Причем по МКС дешифрируются прямым образом последние звенья цепочек, а первые являются объектами индикации. Такова структура и основные положения космофотоиндикационного анализа в инженерной геоморфологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Звонкова Т. В. Прикладная геоморфология. М.: Высш. шк., 1970. 270 с.
2. Симонов Ю. Г. Инженерная геоморфология, основные задачи и пути развития // Вопр. географии. 1979. Вып. III. С. 22.
3. Леваднюк А. Т. Инженерно-геоморфологический анализ равнинных территорий. Кинешев: Штиинца, 1983. 253 с.

4. *Коржуев С. С.* Морфотектоника и рельеф земной поверхности. М.: Наука, 1974. 258 с.
5. *Палиенко Э. Т.* Поисковая и инженерная геоморфология. Киев: Вища шк., 1978. 196 с.
6. *Спирidonov А. И., Палиенко Э. Т., Ревзон А. Л.* Инженерно-геоморфологическое картографирование//Вопр. географии. 1979. Вып. III. С. 93.
7. *Асеев А. А., Александров С. М., Городецкая М. Е.* Современные задачи геоморфологического дешифрирования космических изображений Земли//Геоморфология. 1979. № 1. С. 3.
8. *Гудилин И. С., Комаров И. С.* Применение аэрометодов при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях. М.: Недра, 1978. 320 с.
9. *Садov А. В.* Изучение экзогенных процессов аэроландшафтным методом. М.: Недра, 1978. 150 с.
10. *Сладковецев С. А.* Изучение и картографирование рельефа с использованием аэрокосмической информации. М.: Недра, 1982. 215 с.
11. Геоморфологическое картирование/Под ред. Башениной Н. В. М.: Высш. шк., 1977. 374 с.
12. *Викторов С. В.* Индикационные географические исследования в инженерной геологии. М.: Недра. 1966. 120 с.
13. *Востокова Е. А.* Исследование аэрокосмических фотоснимков при гидрогеологических исследованиях в пустынях. М.: Недра, 1980. 160 с.
14. *Ревзон А. Л.* Инженерно-геоморфологическое картирование по данным съемки из космоса с использованием вероятностно-статистических оценок//Геоморфология. 1984. № 3. С. 36.

ЦНИИС

Поступила в редакцию
29.X.1985

SPACE PHOTOES INDICATION ANALYSIS IN ENGINEERING GEOMORPHOLOGY

REVZON A. L.

Summary

Space photoes application to the engineering geomorphology enlarges considerably its sphere and provides with an essentially new information on geomorphic conditions in regions of planned construction. A new concept of indication analysis of space photoes is developed; it is based on the fact that indicative properties of photoimages of relief vary with changes of the optical generalisation level of the space photoes. Practical applicability of the analysis is defined with view to engineering geomorphology problems arising from linear constructions survey.