

реконструкция их положения и оценка сохранности становятся крайне необходимыми.

Пятый принцип заключается в сопряженном анализе эпох и фаз россыпеобразования, с одной стороны, и палеогеоморфологических и палеогеографических условий, существовавших в эти эпохи,— с другой. В Приохотье эпохи россыпеобразования совпадают со временем углубления речных долин: средний—поздний миоцен, средний—поздний плиоцен, конец раннего—начало среднего плейстоцена, начало и конец позднего плейстоцена. Аллювиальные отложения, сформировавшиеся в эти эпохи, вмещают все известные россыпи этого региона. Важная палеогеоморфологическая особенность россыпеобразования—приблизительное совпадение по глубине днищ разновозрастных долин. При унаследованном развитии это способствовало последовательному обогащению россыпей новыми порциями металла.

Перечисленное выше позволяет рассматривать поисково-оценочные геоморфологические исследования как важное научное и производственное направление поисков и разведки золотоносных россыпей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рудоносность вулканических образований Северо-Востока и Дальнего Востока. Магадан: Кн. изд-во, 1967. 235 с.
2. Прогнозная оценка рудоносности вулканогенных формаций. М.: Недра, 1977. 296 с.

Московский государственный университет,
Географический факультет

Поступила в редакцию
16.III.1983

BASIC PRINCIPLES OF GEOMORPHOLOGICAL SEARCH-AND-ESTIMATE STUDIES UNDER VOLCANOGENIC BELT CONDITIONS

ANANYEV G. S.

Summary

Methods of geomorphological search-and-estimate studies are based on five principles: 1) optimum correspondence between the studies' scale and the tasks to be solved; 2) consistent and combined analysis of topographic, geological and geomorphological maps, aerial and space photos; 3) combined analysis of topography (including reconstructed and buried ones) and deposits; 4) river valleys evolution in assumed to represent rhythmical fluctuations superimposed on a uni-directional trend; 5) epochs of placers formation are thought to correspond to certain stages in the Cenozoic topography evolution.

УДК 551.4 : 528.067.4 : 528.71

РЕВЗОН А. Л.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПО ДАННЫМ СЪЕМКИ ИЗ КОСМОСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИХ ОЦЕНОК

В последние годы геологи-изыскатели все чаще используют геоморфологические методы, позволяющие в более короткие сроки оценить инженерно-геологические условия крупных территорий с точки зрения возможности размещения инженерных сооружений и прогноза их устойчивости. Более того, оценка рельефа позволяет определить рациональную методику инженерно-геологических изысканий и принять наиболее эффективные проектные решения при прокладке трасс линейных сооружений.

Одно из важных достоинств геоморфологических методов — возможность выявления, изучения закономерностей развития и прогнозирования неблагоприятных для строительства экзогенных процессов, развитие которых контролируется рельефом. Сами формы рельефа служат индикаторами генезиса, возраста, истории развития, активности и направленности этих процессов.

Преимущества геоморфологических методов проявляются при составлении инженерно-геоморфологических карт, отражающих состояние и тенденции изменений в системе рельеф — инженерные сооружения [1—5]. Инженерно-геоморфологические карты составляются для различных строительных отраслей по трем главным направлениям инженерной геоморфологии, выделенным Ю. Г. Симоновым [6]: морфометрическому, морфолитологическому и морфодинамическому, или же сочетают в себе элементы всех трех направлений. В ближайшее время роль инженерно-геоморфологического картографирования в системе строительных изысканий будет неуклонно возрастать, что обусловливается широким внедрением в науку и практику материалов космической фотосъемки. Как показали специальные исследования [7, 8], дешифрирование космических материалов в значительной степени осуществляется с индикационно-геоморфологических позиций. Наиболее полно его возможности раскрываются при изучении морфодинамики рельефа, в частности экзогенных процессов, оценке их активности в зависимости от неотектонических, морфолитологических, гидрогеологических факторов [9—13].

Дистанционными исследованиями [11—14] установлено, что наиболее интенсивное проявление экзогенных процессов, связанных с влиянием подземных вод, выветриванием и гравитационными воздействиями, пространственно приурочено к разрывным нарушениям и зонам дробления горных пород. Поэтому рисунок и пространственная конфигурация систем разрывных нарушений, хорошо отражающиеся на космических снимках, являются высокоинформативными индикационными признаками. Несмотря на то что экзогенные процессы (оползни, карст, суффозия и просадки, обвалы, осыпи, мерзлотные явления и др.) на мелкомасштабных снимках не отражаются, есть возможность устанавливать участки региональной изменчивости инженерно-геоморфологических условий, анализируя пространственное положение зон разломов и сопоставляя их с особенностями морфолитологии крупных территорий. Можно также прогнозировать «горячие точки» (по выражению И. П. Герасимова [15]), т. е. участки, где возможно интенсивное развитие экзогенных процессов, неблагоприятных для хозяйственного освоения территорий. Указанные обстоятельства позволяют нам говорить о решающем влиянии разрывной тектоники на пространственную локализацию экзогенных процессов. Для обоснования этого утверждения и применения его в качестве теоретической основы при составлении специальных инженерно-геоморфологических карт прогнозного характера нами разработана методика, особенности которой рассматриваются ниже.

МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИХ ОЦЕНОК РАЗВИТИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЛИЯНИЯ РАЗРЫВНОЙ ТЕКТОНИКИ

Первый этап методики — составление карты тектонической раздробленности территорий на основе дешифрирования разномасштабных космических снимков и количественной обработки полученной информации с помощью методов математической статистики. При дешифрировании выделяются линеаменты различной протяженности, простирающиеся, геоморфологической, ландшафтной и геологической выраженности (вопросы дешифрирования линеаментов достаточно хорошо освещены в литературе и подробно на них останавливаться нет необходимости).

Вероятностно-прогнозный анализ развития суффозионно-просадочных явлений по данным дешифрирования космических фотоснимков

| Районы разной тектонической раздробленности | Значения обобщенного коэффициента тектонической раздробленности, K_0 | Оценка пораженности территории суффозионно-просадочными явлениями | | | Вероятность образования суффозионно-просадочных западин, P |
|---|--|---|---|---|--|
| | | площадь территорий, S км ² | количество западин, отдешифрованных на космических снимках, N | коэффициент пораженности территорий суффозионно-просадочными явлениями, K_{Π} | |
| Очень сильно раздробленные | $K_0 > 2,0$ | 4240 | 451 | 0,11 | 0,49 |
| Сильно раздробленные | $1,5 < K_0 \leq 2,0$ | 2288 | 194 | 0,08 | 0,21 |
| Слабо раздробленные | $0,6 < K_0 \leq 1,5$ | 1152 | 123 | 0,02 | 0,13 |
| Практически не раздробленные | $K_0 < 0,6$ | | 145 | | 0,15 |

Выделенные по снимкам линеаменты наносятся на рабочую карту, по которой в дальнейшем рассчитываются коэффициенты (плотности линеаментов, плотности узлов пересечения линеаментов, суммарной длины линеаментов) в пределах квадратных или прямоугольных ячеек, размещенных на исследуемой территории. В случае равномерной густоты трещиноватости для расчетов удобны квадратные ячейки, а в случае явного преобладания какого-либо направления в ориентировке и густоте трещиноватости, более целесообразно придать ячейкам форму прямоугольников, вытянутых по направлению трещиноватости.

Для расчетов в соответствии с требованиями математической статистики ячейки группируют в системы. Обработка включает оценку неоднородности значений признаков (расчет дисперсии их рассеяния и коэффициента неоднородности), что обеспечивает получение обобщенных значений расчетных коэффициентов и их сопоставимость [16]. Подробно методика такой количественной оценки дешифровочных данных рассмотрена нами в более ранней работе [13].

Далее на основе корреляционного анализа определяется обобщенный коэффициент тектонической раздробленности с выделением ряда категорий, каждой из которых соответствует определенный диапазон количественных характеристик (см. первые две графы таблицы). Затем путем интерполяции между системами расчетных ячеек проводят границы районов с разной степенью тектонической раздробленности. На втором этапе по материалам крупномасштабных съемок из космоса выполняется дешифрирование проявлений экзогенных процессов и дается количественная оценка пораженности ими территории в зависимости от степени тектонической раздробленности. Расчеты осуществляются по районам, выделенным на карте тектонической раздробленности, а затем строятся графики, отражающие зависимость пораженности территорий экзогенными процессами от степени тектонической раздробленности. Они и служат основанием для разработки вероятностных прогнозов развития экзогенных процессов в зависимости от влияния разрывной тектоники. По расчетным данным проводится районирование территорий и составляются пространственные вероятностные прогнозы.

Рассмотренная выше методика положена в основу составления специальных инженерно-геоморфологических карт вероятностного прогноза экзогенных процессов. Такие карты являются вспомогательными. Они дополняют общие инженерно-геологические карты, составляемые для обоснования проектирования инженерных сооружений на первых этапах изыскательских работ, проводимых, например, при сравнении вариантов трасс линейных сооружений и выборе оптимального варианта трассы. На картах показываются разрывные тектонические нарушения, формы проявления неблагоприятных для строительства экзогенных процессов или ареалы их распространения (в зависимости от масштаба карты), районы с различной степенью тектонической раздробленности, поражен-

ность их экзогенными процессами и вероятность их развития. Легенды таких карт, построенные в табличной форме, содержат условные обозначения и наименования выделенных на карте объектов и соответствующие количественные характеристики. Дополнительными знаками показываются положение трассы линейного сооружения и пункты привязки к отдельным ее участкам.

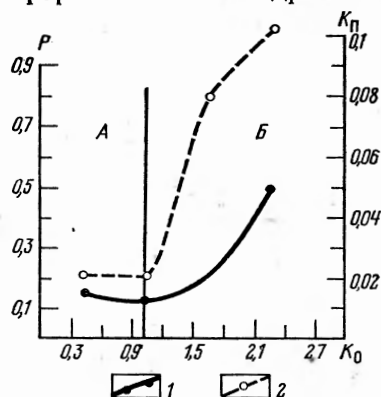
Ниже на примерах конкретных инженерно-геоморфологических исследований по трассам мелиоративных и транспортных сооружений, проектирование которых осуществляется в настоящее время, рассмотрен опыт составления таких карт по результатам дешифрирования и статистической обработки.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ В РАЙОНАХ ПРОЛОЖЕНИЯ ТРАССЫ КАНАЛА ПЕРЕБРОСКИ РЕК

Исследования проводились в районе Южно-Тургайской впадины, где среди экзогенных процессов наиболее интенсивно развиты суффозия и просадки, создающие в рельефе разнообразные западины и котловины, приуроченные к водораздельным поверхностям и террасам. Размеры западин колеблются от десятков метров до нескольких километров в диаметре. Наиболее крупные западинные формы являются древними

Рис. 1. Зависимость пораженности территории суффозионно-просадочными явлениями и вероятности их образования от степени тектонической раздробленности (район одного из вариантов трассы канала переброски стока Сибирских рек в Среднюю Азию)

1 — кривая $P = f_1(K_0)$; 2 — кривая $K_n = f_2(K_0)$, где P — вероятность образования суффозионно-просадочных явлений, K_n — пораженность территории этими явлениями, K_0 — степень тектонической раздробленности; А — зона влияния неучтенных факторов, Б — зона влияния тектонической раздробленности на развитие суффозионно-просадочных явлений. Графики построены по усредненным значениям



образованиями. В современных условиях образуются мелкие западины, связанные с процессами диагенеза и облессования аллювиальных толщ [17]. Для развития суффозионно-просадочных западин наиболее благоприятны супесчаные и суглинистые отложения. Особенности дешифрирования суффозионно-просадочных форм рельефа по материалам космической фотосъемки рассматривались нами раньше [11], поэтому мы сосредоточим внимание лишь на вопросах, касающихся инженерно-геоморфологического картографирования по рассмотренной выше методике.

На основе дешифрирования разномасштабных космических фотоматериалов и их статистической обработки составлена карта тектонической раздробленности. Затем на нее были перенесены все отдешифрованные по крупномасштабным космическим снимкам западины и дана оценка пораженности ими территории в пределах районов с различной тектонической раздробленностью (таблица). Дальнейший анализ зависимости пораженности территории суффозионно-просадочными явлениями от тектонической раздробленности показал их корреляционную связь (рис. 1). Максимальное количество западин, отдешифрованных на космических фотоматериалах, приурочено к районам с очень сильной тектонической раздробленностью. Однако на графике проявляется и другая особенность, заключающаяся в некотором возрастании количества западин в пределах практически не раздробленных участков или со слабой степенью раздробленности. Это объясняется тем, что на развитие суффозионно-просадочных явлений влияют не только структурно-тектонические, но и другие факторы, в частности литологические, гидрогеологические и геоморфологические. Однако ведущим фактором,

контролирующим пространственную локализацию суффозионно-просадочных явлений, остается тектоническая раздробленность территории, способствующая более высокой обводненности горных пород. Это подтверждает количественный анализ пораженности территории суффозионно-просадочными явлениями, результаты которого приведены в таблице. На основе полученных данных разработан вероятностный прогноз раз-

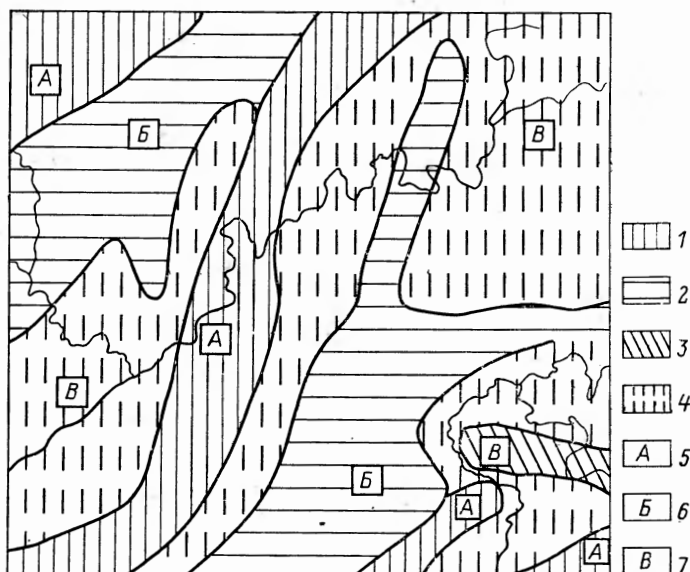


Рис. 2. Фрагмент инженерно-геоморфологической карты вероятностного прогноза развития суффозионно-просадочных явлений по одному из вариантов трассы канала переброски рек

Районы с различной вероятностью развития суффозионно-просадочных явлений. Степень тектонической раздробленности: 1 — очень сильная (0,49), 2 — сильная (0,21), 3 — слабая (0,13), 4 — практически не раздробленные территории (0,15); пораженность территории суффозионно-просадочными явлениями: 5 — очень сильная ($K_{\text{п}} \geq 0,1$), 6 — сильная ($0,1 > K_{\text{п}} > 0,05$), 7 — слабая ($K_{\text{п}} \leq 0,05$)

вития суффозионно-просадочных явлений в соответствии с формулой

$$P = \sum n_i / \sum N,$$

где P — вероятность; $\sum n_i$ — суммарное количество проявлений экзогенных процессов в i -й категории систем тектонической раздробленности; $\sum N$ — суммарное количество проявлений экзогенных процессов по всей площади исследований, отображенной на карте. Согласно расчетам, вероятность образования новых суффозионно-просадочных западин в районах с очень сильной тектонической раздробленностью составляет 0,49; в районах с сильной раздробленностью — 0,21; в районах со слабой раздробленностью и в практически не раздробленных — соответственно 0,13 и 0,15. Эти данные отражены на карте вероятностного прогноза развития суффозионно-просадочных явлений, составленной на основе статистической обработки данных дешифрирования космических фотоматериалов (рис. 2).

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ В РАЙОНЕ ПРОЛОЖЕНИЯ ТРАССЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ КАВКАЗА

Строительство железной дороги в горах Кавказа имеет большое народнохозяйственное значение, поскольку она свяжет кратчайшим путем республики Закавказья с центром страны. С инженерно-технической точки зрения, трасса дороги — уникальный объект транспортного строи-

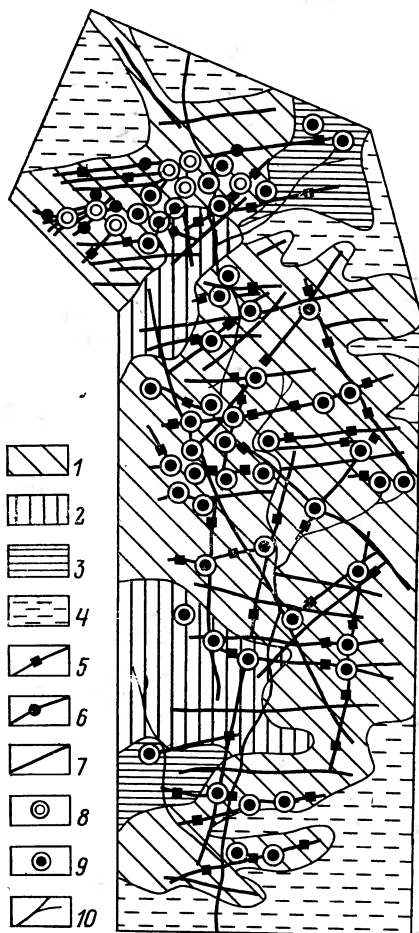
тельства, так как проектируется в очень сложных геолого-геоморфологических условиях высокогорной части Большого Кавказского хребта, его северного и южного склонов. Центральная и большая часть трассы дороги проектируется в районах распространения высокогорного скалистого, крутосклонного, тектоморфного рельефа со следами древнего оледенения, развитого на терригенно-метаморфических, магматических и флишевых толщах палеозоя, юры и нижнего мела [18]. Эти районы

Рис. 3. Инженерно-геоморфологическая карта вероятностного прогноза развития оползней и обвалов по одному из вариантов трассы железной дороги в горном районе

Районы с различной степенью опасности возникновения и активизации оползней и обвалов в зависимости от степени тектонической раздробленности территории: 1 — чрезвычайной опасности, приуроченные к высокогорному крутосклонному тектоморфному рельефу с гравитационными и ледниковыми формами, с очень сильной тектонической раздробленностью терригенно-метаморфических, магматических и флишевых скальных и полускальных пород юры и юры ($K_0 \geq 2$). Вероятность развития оползней и обвалов 0,7; 2 — опасные, приуроченные к высокогорному и среднегорному крутосклонному рельефу, с эрозивно-денудационными поверхностями и следами ледниковой переработки, с сильной тектонической раздробленностью сланцево-флишевых полускальных пород юры и мела ($1,5 \leq K_0 < 2$). Вероятность развития оползней и обвалов 0,2; 3 — незначительной опасности, приуроченные к средне- и низкогорному эрозивно-денудационному холмисто-бугристому сильно расчлененному рельефу, со слабой тектонической раздробленностью полускальных и рыхлых отложений палеогена и неогена ($0,6 < K_0 < 1,5$). Вероятность развития оползней и обвалов 0,07; 4 — безопасные, приуроченные к предгорному, эрозивно-аккумулятивному, террасированному рельефу с практически не раздробленными рыхлыми неоген-четвертичными отложениями ($K_0 < 0,6$). Вероятность развития оползней и отвалов менее 0,001

Выраженные в рельефе разрывные нарушения и их инженерно-геологическая роль: 5 — со значительным обводнением горных пород в зонах их дробления и разгрузкой подземных вод в виде восходящих источников, способствующие интенсификации гравитационных процессов; 6 — со значительным обводнением горных пород в зонах их дробления за счет циркуляции подземных вод по трещинам, с отсутствием открытой разгрузки подземных вод, способствующие развитию провального карста; 7 — инженерно-геологическая роль по материалам космической фотосъемки не установлена

Очаги локализации неблагоприятных для строительства экзогенных процессов: 8 — провальный карст; 9 — оползни и обвалы; 10 — поймы рек



наиболее активны в геодинамическом отношении, что проявляется в значительной их тектонической раздробленности и интенсивном развитии экзогенных процессов (оползней, обвалов, осыпей, селей, карста), неблагоприятных для строительства и эксплуатации дороги.

Для оценки характера и степени тектонической раздробленности этих районов и влияния тектонических разломов на динамику инженерно-геоморфологических условий и прежде всего на локализацию экзогенных процессов, затрудняющих строительные работы, автором выполнено дешифрирование разномасштабных космических фотоснимков; проведена вероятностно-статистическая обработка полученной информации. На

этой основе составлена инженерно-геоморфологическая карта вероятностного прогноза развития экзогенных процессов (рис. 3), на которой выделены разломы и разрывные нарушения по их инженерно-геоморфологической роли, районы, различающиеся по степени тектонической раздробленности (с количественными характеристиками), участки развития оползней, обвалов, карста. Дана оценка вероятности развития гравитационных процессов в зависимости от степени тектонической раздробленности территории.

Количественная обработка полученной со снимков информации показала, что максимумы локализации экзогенных процессов приурочены к районам с очень сильной тектонической раздробленностью, что определяет и максимальную для данного района вероятность новых проявлений этих процессов. Помимо этого выявлено, что 87% оползневых и обвальных очагов, а также участков локализации карстовых форм пространственно приурочены к узлам пересечения разрывных нарушений или же к конкретным разрывным нарушениям. Это является индикационным признаком для оценки их инженерной роли, поскольку локализация экзогенных процессов, в развитии которых принимают участие подземные воды (оползни, карст), свидетельствует об обводненности горных пород в зонах их тектонического дробления. Последнее весьма важно при проектировании тоннелей, особенно при определении их порталных участков.

Полученные данные были использованы проектировщиками при обосновании основных проектных решений по трассированию тоннелей, уточнению объемов наземных изыскательских работ и их размещению по трассе железной дороги.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования влияния разрывной тектоники на формирование и развитие экзогенных процессов, неблагоприятных для строительства и эксплуатации инженерных сооружений, автор выдвигает положение о ведущей роли разрывной тектоники при локализации экзогенных процессов, в развитии которых принимают участие подземные воды, выветривание горных пород, гравитационное воздействие. Геоморфологически и математически это обосновано на примере суффозии и просадок, оползней и обвалов, карста, мерзлотных явлений и засоления в процессе проведения инженерно-геоморфологических изысканий для мелиоративного и транспортного строительства. Это научное положение может стать основой для составления специальных инженерно-геоморфологических карт по результатам обработки космических снимков и вероятностно-статистической оценки развития экзогенных процессов в зависимости от влияния разрывной тектоники. Методика составления таких карт и опыт их применения рассмотрены в статье.

Составление инженерно-геоморфологических карт наиболее эффективно при проведении изысканий для сравнения и выбора оптимального варианта трасс линейных сооружений. При этом обеспечивается оптимизация методики проведения наземных изысканий за счет более обоснованного определения и размещения объемов дорогостоящих работ и получения дополнительной информации об инженерно-геологической роли разломов земной коры. Это способствует принятию эффективных проектных решений по прокладке трассы и определению строительных объемов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Звонкова Т. В. Прикладная геоморфология. М.: Высш. школа, 1970, 270 с.
2. Спиридонов А. И. Геоморфологическое картографирование. М.: Недра, 1975. 180 с.
3. Спиридонов А. И., Палиенко Э. Т., Ревзон А. Л. Инженерно-геоморфологическое картографирование. *Вопр. географии*, 1979, вып. III, с. 93.
4. Палиенко Э. Т. Поисковая и инженерная геоморфология. К.: Вища школа, 1978. 196 с.
5. Леваднюк А. Т. Инженерно-геоморфологический анализ равнинных территорий. Кишинев: Штиинца, 1983. 253 с.

6. *Симонов Ю. Г.* Инженерная геоморфология, основные задачи и пути развития. *Вопр. географии*, 1979, вып. III, с. 22.
7. *Ревзон А. Л.* Космофотоиндикационный анализ в гидрогеологии и инженерной геологии.— *Изв. ВГО*, 1981, № 3, с. 248.
8. *Ревзон А. Л.* Типизация оптических моделей ландшафта применительно к решению задач гидрогеологии и инженерной геологии.— В кн.: *Ландшафтная индикация и ее использование в народном хозяйстве*. М.: МФ ВГО, 1981, с. 31.
9. *Асеев А. А., Александров С. М., Городецкая М. Е.* Современные задачи геоморфологического дешифрирования космических изображений Земли.— *Геоморфология*, 1979, № 1, с. 3.
10. *Сладковцев С. А.* Изучение и картографирование рельефа с использованием аэрокосмической информации. М.: Недра, 1982. 215 с.
11. *Ревзон А. Л., Свитнева Т. В.* Индикационное значение субаридной морфоскульптуры равнин Южного Тургая для решения гидрогеологических и инженерно-геологических задач.— *Геоморфология*, 1982, № 3, с. 64.
12. *Геоморфологическое картирование/Под ред. Башениной Н. В.* М.: Высш. школа, 1977. 374 с.
13. *Ревзон А. Л., Юровский Б. Л.* Космическая информация и прогнозирование экзогенных процессов.— *Исследование Земли из космоса*, 1983, № 4, с. 47.
14. *Макдональд Г. К., Гробс Р. С.* Анализ изображений с «ЛЭНДСАТ» как средство прогнозирования оползней на трассах строящихся шоссеиных дорог.— В кн.: *Космическая геология*. Л.: Недра, 1979, с. 294.
15. *Герасимов И. П.* Методологические проблемы экологизации современной науки.— В кн.: *Общество и природная среда*. М.: Знание, 1980, с. 66.
16. *Каган А. А.* Расчетные показатели физико-механических свойств грунтов. Л.: Стройиздат, 1973. 137 с.
17. *Городецкая М. Е.* Морфоструктура и морфоскульптура юга Западно-Сибирской равнины. М.: Наука, 1972. 153 с.
18. *Сафронов И. Н.* Геоморфология Северного Кавказа. Ростов н/Д, 1969.

ЦНИИС

Поступила в редакцию
10.VI.1983

ENGINEERING-GEOMORPHOLOGICAL MAPPING ON THE BASIS OF SPACE IMAGES USING STATISTICAL PROBABILITY ANALYSIS

REVZON A. L.

Summary

The fault tectonics is stated to be leading factor of spatial localisation of exogenous processes; the concept may be used as a theoretical basis of compilation of prognostic engineering geomorphological maps. Methods of engineering-geomorphological mapping are discussed using statistical probability processing of space photos interpretation data on fault tectonics and exogenous processes. Examples are given of special maps for land reclamation and transport works.