



**МЕТОДЫ
ДИСТАНЦИОННЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ
ПРИРОДОВЕДЧЕСКИХ
ЗАДАЧ**

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ
НАУЧНО-КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМЕ
«АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ»

МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИРОДОВЕДЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Ответственный редактор
д-р геол.-мин. наук *В. Н. Шаранов*

4705

НОВОСИБИРСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

1986



ПРЕДИСЛОВИЕ

В декабре 1983 г. в Новосибирске под девизом «Космос — программе „Сибирь“» проходила IV сессия Научно-координационного совета по проблеме «Аэрокосмические исследования природных ресурсов».

На сессии обсуждались актуальные проблемы использования аэрокосмической информации при решении ряда народнохозяйственных и научно-исследовательских задач, разрабатываемых по программе «Сибирь», рассматривались результаты применения космической информации по четырем основным направлениям:

- изучение геодинамических процессов в различных природно-климатических зонах,
- выявление районов, перспективных для поисков полезных ископаемых (нефти, газа и рудного проявления),
- изучение новейшей тектоники, различных типов структур и сейсмической активности;
- автоматизированная обработка изображений.

Материалы этих проблем отражены в трех сборниках:

1. «Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач»;
2. «Дистанционные исследования при поисках полезных ископаемых»;
3. «Дистанционные исследования природных ресурсов Сибири».

В предлагаемом сборнике выделены четыре раздела.

В первом разделе изложены результаты дистанционных исследований крупных региональных структур Сибири, палеовулканологического картирования и тектонического районирования; возможности прогноза по космическим снимкам погребенных поднятий, палеоразрывов в условиях расчлененного рельефа.

Во втором разделе по результатам дешифрирования космических снимков описаны признаки отражения новейших структур Средней Азии, Сибири, Северо-Востока СССР, рассмотрены возможности изучения по космическим снимкам периодичности размещения сейсмоактивных структур и динамический прогноз крупных землетрясений.

В третьем разделе обсуждены аэрокосмический мониторинг многолетнего экологического тренда; геометрические преобразования цифровых изображений; трансформация и совмещение изображений при решении прикладных задач в геологии; опыт цифровой обработки линейментных сетей для целей прогнозирования полезных ископаемых и структурно-тектонического районирования. Кроме того, приведены результаты геоэлектрического картирования и монтажно-аппликационных способов структурного анализа космических снимков.

В четвертом разделе рассмотрены дистанционные методы применительно к ландшафтным исследованиям: оценка послепожарного состояния тайги, изучение сезонной динамики лесов, степей, болот и т. д.

Публикуемые материалы свидетельствуют о том, что при решении природоведческих задач все шире используется космическая фотоинформация. Большое внимание уделяется решению проблемы автоматизированной расшифровки аэрокосмических изображений, разрабатываются технические средства сбора и анализа дистанционной информации.

I раздел

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Л. Н. РОЗАНОВ, В. Я. ЕРОМЕНКО

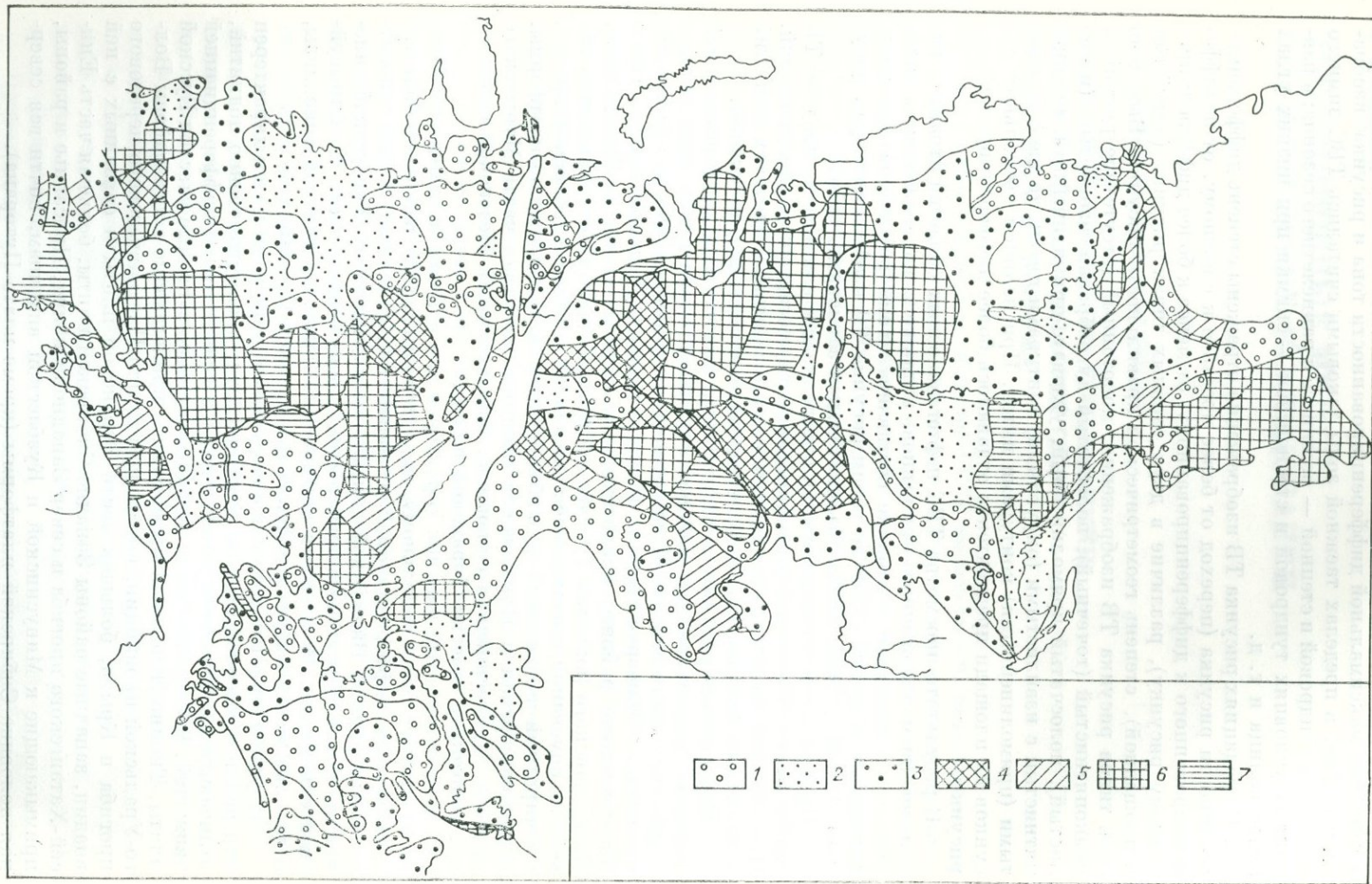
ОТРАЖЕНИЕ НОВЕЙШЕЙ ГЕОДИНАМИКИ ПЛАТФОРМЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ СССР НА СНИМКАХ ИЗ КОСМОСА

Изучение нефтегазоносных областей СССР показало, что размещение зон нефтегазонакопления связано не только со структурой и коллекторскими свойствами вмещающих пород, но и с характером новейших тектонических движений. При этом решающее значение имеют два фактора: направленность новейших тектонических движений, обуславливающая преобладание относительного поднятия или погружения, и степень их дифференцированности, выраженная в виде деформации геоморфологических уровней, а также в активизации разрывных нарушений. Эти два показателя новейших тектонических движений могут проявляться в условиях общей погруженности или приподнятости (и дренированности) плит и их частей. Они отражают современное геодинамическое состояние территорий и обуславливают масштабы и скорость миграции углеводородов, степень раскрытости недр, условия формирования и разрушения месторождений нефти и газа. Сказанным определяется важность исследования геодинамики нефтегазоносных областей с неотектонических позиций [Ероменко, 1981; Розанов, 1979, 1982; Карта..., 1981].

Отображение динамики новейших тектонических движений земной коры на поверхности создает предпосылки для использования снимков из космоса с целью уточнения и детализации неотектонического районирования территории. Использование космических снимков (КС) позволяет провести сравнительный анализ новейшей тектоники нефтегазоносных областей с единых позиций.

Проявления новейшей тектоники на КС отражаются в тоне и рисунке космофотоизображения. Общие закономерности изменения тона изображения КС по территории СССР освещены в работе В. Я. Ероменко [1981]. Для решения поставленной задачи более необходимо изучать закономерности изменения рисунка космофотоизображения, который определяется амплитудой и степенью дифференцированности движения блоков, распространением солянокупольной тектоники, степенью насыщенности осадочного чехла долеритами и пр. Эти данные были получены при обработке телевизионных снимков (ТВС) со спутников «Метеор». Привлечение данных мелкомасштабных изображений вызвано необходимостью изучения наиболее общих закономерностей изменения рисунка по площади на генерализованных изображениях и небольшим числом градаций этого рисунка. При переходе к более крупномасштабным изображениям резко возрастает число градаций рисунка, обусловленного к тому же не только тектоническими (неотектоническими), но и экзогенными зональными, антропогенными и другими факторами.

Проведенный ниже анализ представляет собой попытку сопоставить в плане всей платформенной территории Советского Союза особенности рисунка по ТВС с новейшей тектонической динамикой. При этом в ходе



но блокового типа движений. Эти районы располагаются на продолжении или внутри районов с крупнопятнистым округлым рисунком и распространены значительно меньше. К ним относятся: субширотная зона в средней части Западно-Сибирской плиты, северная часть Волго-Уральской антеклизы, Полесская седловина и часть Припятской впадины.

Несколько другую систему образуют космофотоизображения, имеющие полосчатый рисунок.

Полосчатый дугообразно изогнутый рисунок встречается редко, преимущественно в слабоподвижных районах распространения линейно-вытянутых и овальных тектонических структур, и отвечает седловинам между надпорядковыми тектоническими элементами и склонам антеклиз. К ним относятся: юго-западный склон Украинской антеклизы, склоны Ставропольского свода, Рязано-Саратовский авлакоген, Бирская и Ботуобинская седловины, обнаженная часть Мангышлакской гряды, ряд переходных структурных зон Западно-Сибирской плиты.

Полосчатый угловато-прямолинейный рисунок свойствен районам средней и высокой степени интенсивности новейшей тектонической динамики, преимущественно поднятий сводового или крупноглыбового типа. К ним относятся: западная половина Белорусской антеклизы, юго-западная половина Волго-Уральской антеклизы, юго-восточная часть Прикаспийской синеклизы, север Западно-Сибирской плиты и небольшой район в ее южной части, Путоранский свод, Сунтарский вал, Алданская антеклиза.

Полосчатый прямолинейный рисунок характерен для районов линейных структур и соляных валов с высокой степенью новейшей тектонической динамики. К ним относятся: Прикарпатский прогиб, юго-западная часть Днепровско-Донецкой впадины, зона линейных складок Предкавказья, южная часть Предуральяского прогиба и примыкающая часть северного обрамления Прикаспийской синеклизы, южная краевая часть Западно-Сибирской плиты, участки Приверхоянского передового прогиба и северного обрамления Вилюйской синеклизы, обрамление зоны соляных структур в Иркутском амфитеатре, Хапчагайский вал. В целом распространение этого типа рисунка незначительное.

Намечающаяся зависимость рисунка космофотоизображения от особенностей неотектонического режима территории находится в соответствии с представлениями о ведущей роли динамических сил сжатия и растяжения в земной коре, проявляющихся в новейший и современный геотектонический этап. Предполагается, что в процессе новейших тектонических деформаций участки поднятий и опусканий оказываются в различных динамических обстановках. На участках поднятий в результате растяжения и снятия нагрузки вышележащих пород вследствие денудации образуется большое количество трещин и увеличивается проницаемость осадочного чехла. Благодаря этому создаются условия для интенсивной миграции флюидов и циркуляции пластовых вод. В большинстве случаев это приводит к увлажнению участков новейших поднятий и активных разломов, отраженных более темным фототонном на космоснимках, что особенно характерно для гумидных зон с пологим рельефом. В других случаях при ярко выраженном положительном рельефе и в аридных районах, где участки поднятий и разломов представляют собой зоны поглощения вод, они будут выделяться как более просветленные элементы фототона.

Однако во всех случаях проницаемые трещиноватые зоны отобразятся на космофотоизображении.

Естественно, характер рисунка космофотоизображения будет отвечать особенностям размещения трещиноватости и изменения проницае-

Схема районирования платформенных областей СССР по типам рисунка ТВ космофотоизображения.

Тип рисунка: 1 — монотонный; 2 — мелкопятнистый; 3 — крупнопятнистый с округлыми контурами; 4 — крупнопятнистый с угловатыми контурами; 5 — полосчатый, прямолинейный; 6 — полосчатый, угловато-прямолинейный; 7 — полосчатый, дугообразный.

мости верхней части земной коры и ее поверхности. Так, при спокойном геодинамическом режиме и слабой проницаемости осадочного чехла наблюдается монотонный рисунок космофотоизображения, при несколько большей раскрытости недр и умеренной циркуляции грунтовых вод, характерной для переходного режима, — мелкопятнистый (точечный).

Крупнопятнистый рисунок отвечает высокой мобильности и соответственно высокой степени проницаемости земной коры и активной циркуляции вод и других флюидов, влияющих на повышение (или понижение) плотности фототона на участках неотектонических поднятий, рисунок с округлыми контурами — преимущественному распространению округлых пликативных структур, а рисунок с угловатыми прямоугольными контурами более соответствует блоковым поднятиям. То же можно сказать и относительно районов с полосчатым рисунком космофотоизображения, который определяется линейным расположением мобильных проницаемых зон разной конфигурации, связанных с пликативными и дизъюнктивными неотектоническими деформациями. Полосчатый угловато-прямолинейный рисунок, вероятно, характеризует тип неотектонических деформаций, очень близкий к тому, который соответствует крупнопятнистому рисунку с угловатыми контурами, но в большей степени отвечает проявлению разрывных деформаций, служащих путями циркуляции флюидов.

Поскольку на поднятиях из-за динамического растяжения трещиноватость и соответствующая ей увеличенная проницаемость лучше выражены, в зонах положительных новейших структур более контрастно проявление и космофотоизображения.

В свете высказанных положений объясняется тот факт, что характер рисунка космофотоизображения на летних и зимних снимках территории часто является сходным. Это может быть следствием того, что трещины земной коры служат каналами для конвективного теплопереноса. Эти проницаемые зоны характеризуются повышенными значениями теплового потока, влияние которого на снежный покров отражается в изменении плотности фототона.

Обращает на себя внимание также и тот факт, что в разных ландшафтных зонах обнаруживаются одинаковые типы рисунков фототона, что, по-видимому, свидетельствует о ведущем значении геодинамического режима.

Таким образом, отображение новейшей геодинамики на космоснимках дает возможность уточнить положение и особенности режима неотектонических зон, что может служить дополнительным критерием при выделении зон нефтегазонакопления.

ЛИТЕРАТУРА

- Ероменко В. Я. Отражение крупнейших тектонических структур на телевизионных космоснимках. — В кн.: Комплексная интерпретация космоснимков нефтегазонасыщенных территорий. Л.: изд. ВНИГРИ, 1981, с. 73—84.
- Карта новейшей тектоники нефтегазонасыщенных областей Сибири. Масштаб 1 : 2 500 000/Ред. Н. А. Флоренсов, И. П. Варламов. — М.: Мингео СССР, 1981.
- Карта новейших тектонических деформаций осадочного чехла нефтегазонасыщенных областей СССР. Масштаб 1 : 5 000 000/Ред. С. К. Горелов, Л. Н. Розанов. — М.: Мингео СССР, 1978.
- Объяснительная записка к карте новейших деформаций осадочного чехла нефтегазонасыщенных областей СССР (масштаб 1 : 5 000 000)/Ред. С. К. Горелов, Л. Н. Розанов. — Л.: изд. ВНИГРИ, 1978. — 32 с.
- Розанов Л. Н. Геотектонические факторы формирования зон нефтегазонакопления. — Геотектоника, 1979, № 3, с. 14—24.
- Розанов Л. Н. Геодинамический подход к дешифрированию космоснимков при решении задач нефтегазовой геологии. — Геология нефти и газа, 1982, № 6, с. 39—42.

ОБ УЗЛАХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ РАЗРЫВНЫХ ДИСЛОКАЦИЙ И ИХ РОЛИ В СТРОЕНИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Космические исследования, позволившие выявить большое количество линейментов и разрывных дислокаций, вызвали необходимость продолжить изучение узлов пересечений этих нарушений. Их широкое выявление на основе дистанционных материалов определяет потенциальную перспективность данных образований для изучения их связей с полезными ископаемыми. Будучи довольно распространенными, они нуждаются в специальном названии, так как наименование «узловая» структура не раскрывает ее содержания, а узел пересечения разломов на карте представляется в виде точки. В связи с этим автор предлагает название, соответствующее понятию узла пересечения разрывных нарушений, — «кентроген» или «кентрогенная» структура. Под кентрогенной структурой понимается участок динамического воздействия пересекающихся разломов, характеризующийся интенсивной раздробленностью земной коры, ее высокой проницаемостью для магматических пород, флюидов и растворов, а также повышенной эрозионной расчлененностью и дифференцированностью новейших движений [Боровиков и др., 1983; Ермаков, Вольфман, 1982].

Литература по этому вопросу немногочисленна. В ряде работ по неотектонике, строению фундамента, дешифрированию космических снимков и экспериментальной тектонике данная схема находит частичное отражение с морфологических и динамических позиций [Вольперт, Востоков, 1982; Ружич, 1982].

При изучении морфологии узлы можно классифицировать, исходя из количества составляющих их разломов, типа их сочленения и степени активности в ходе геологической истории. По количеству входящих в узел разломов целесообразно разделять их на 3-, 4-лучевые и т. д. Количество входящих в эту систему нарушений может влиять в некоторой степени на его активность.

По типу сочленения можно подразделять узлы на симметричные и асимметричные. Для первых один из разломов является осью симметрии. Узлы, образованные при их пересечении, могут быть кратны 45° , 30° и т. д. Асимметричные узлы отличаются от предыдущих произвольно варьирующими углами сочленения разломов. Некоторые специалисты применяют названия для характеристики сочленений, Т-образные, Х-образные, крестообразные и др. Тип сочленения определяет динамику, характеристику и степень активности узла.

Для изучения активности проявления узлов необходимо их рассматривать на уровне современного эрозионного среза, в строении чехла, фундамента и глубинном строении. Они могли пассивно проявлять себя в режиме растяжения или активно развиваться в состоянии сжатия. В соответствии с этим можно делить их на одноактные и многоактные, или непрерывно действующие, пульсирующие. По глубине проницаемости для магматических тел узлы могут подразделяться на глубинные, ниже- и верхнекоровые, а по амплитуде перемещений входящих в их состав тектонических клиньев на мало- (до 10 м), средне- (от 10 до 100 м) и крупноамплитудные (более 100 м).

Активность узла обусловлена пересечением различных кинематических типов дислокаций, его пульсационным возбуждением и возобновлением через него древних залеченных разломов. Например, в зоне сочленения линейментов, дешифрируемых на дистанционных материалах и, следовательно, активных на новейшем этапе, с дорифейскими разломами, не проявленными в новейшей структуре, небольшие отрезки последних в этой зоне отчетливо отображаются в рельефе как результат неотектонической активизации (рис. 1).

Дополнительным источником возбуждения и активизации узлов является их длительная эндогенная и термальная активность. Изучение бо-

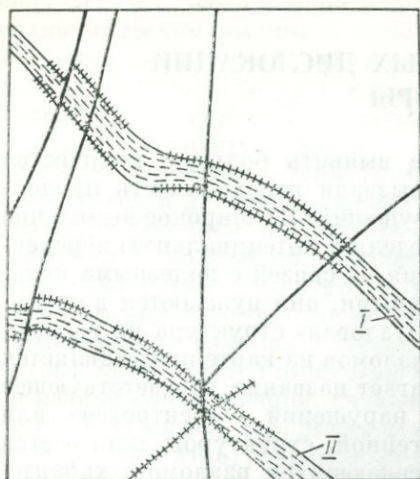


Рис. 1. Возбужденная активность древних разломов на пересечении с линейентами в пределах Почепнянского (I) и Асоцко-Фатеевского (II) раннепротерозойских трогов докембрийского фундамента мегантиклинориев КМА.

менте — 68%, в том числе в кислых интрузиях — 33%, нерасчлененных основных — ультраосновных породах — 17% и в сочленении разломов без установленных признаков магматизма — 18%. Эти данные свидетельствуют о более активной роли узлов на стадии формирования фундамента с постепенным ослаблением их мобильности на платформенном

лее 100 крупнейших тектонических узлов Восточно-Европейской платформы показывает, что для них характерны следующие показатели: распределение 4-, 5-, 6- и 7-лучевых структур равно соответственно 44, 27, 19 и 10%; в рельефе земной поверхности — 40% тектонических узлов, в платформенном чехле — 55%; в магматических телах — 6%; в докембрийском фундаменте — 68%, в том числе в кислых интрузиях — 33%, нерасчлененных основных — ультраосновных породах — 17% и в сочленении разломов без установленных признаков магматизма — 18%. Эти данные свидетельствуют о более активной роли узлов на стадии формирования фундамента с постепенным ослаблением их мобильности на платформенном

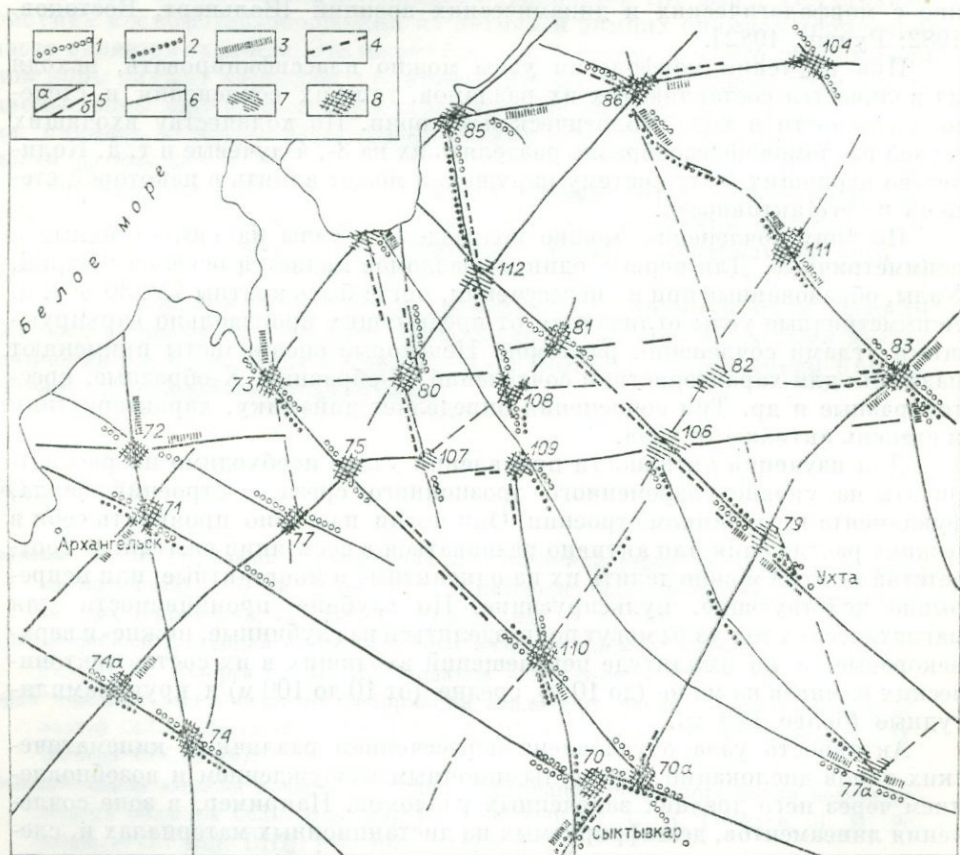


Рис. 2. Фрагмент схемы узловых структур северной части Восточно-Европейской платформы и времени их активизации.

1—4 — активизация: 1 — дорифейская, 2 — байкальская, 3 — герцинская, 4 — киммерийская; 5 — зоны, мегазоны дислокаций (а) и разломы, активизированные на новейшем этапе (б); 6 — разломы, не проявленные на новейшем этапе; 7 — узловы структуры (узлы пересечений разломов); 8 — узловы структуры, с которыми связано проявление магматизма.

и неотектоническом этапах, а также о частой приуроченности к ним интрузивных и вулканических образований.

Изучение проявления узлов в рельефе земной поверхности показывает, что они соответствуют отрицательным или положительным морфоструктурам. Первые связаны с просадками, образующимися под воздействием размыва пород в центральной части узла, характеризующейся повышенной тектонической раздробленностью. Вторые образуются в области сжатия, представляя собой упроченный блок пород, выпирающий в рельефе, или формируются под воздействием скрытых интрузий или сводовокупольных структур фундамента. Пассивные в настоящее время узлы не имеют отчетливого выражения в рельефе, отвечая в наибольшей степени криптоморфным морфоструктурам [Зятькова, 1983; Пронин, 1983; Комплексные... исследования..., 1984].

Детальное рассмотрение активности узлов в северной части Восточно-Европейской платформы показывает, что в платформенном чехле они соответствуют преимущественно замыканиям структур, пережимам, перемычкам, седловинам и в первую очередь сочленениям на основных геотектонических этапах и что подавляющее большинство (23 из 25) заложено в докембрии и проявляло активизацию на байкальском (17), герцинском (10) и киммерийском (14) этапах. Отмечаются преобладание многоактных структур в восточной части изученной территории, т. е. ближе к Уралу, и их высокая проницаемость для магматизма на дорифейском этапе (рис. 2).

Таким образом, из 25 изученных узловых структур почти все являются многоактными, действовавшими активно на платформенном этапе.

С узлами пересечения разломов часто связаны узловые структуры, иногда ограниченные изометричными или дуговидными разрывными нарушениями. Они формируются в связи с высокой проницаемостью данных участков земной коры, изменением физико-механических свойств пород под воздействием флюидов или упрочением узлов в состоянии сжатия (6). Примерами таких структур — центров магматической активности — могут служить Гольнская, Валмиерская, Олемовская, Михайловская на территории Восточно-Европейской платформы, характеризующиеся узловым положением, пересечением нескольких линейных магнитных аномалий, наличием интрузий, купольных образований в фундаменте, крупных магматических тел и поднятий в платформенном чехле (рис. 3). При изучении крупных интрузий фундамента, связанных с изометричными структурами, видно, что они расположены в зонах сочленения разломов. К подобным интрузиям относится Коростеньский плутон, щелочные границы Азовского массива и др., связанные с изометричными и узловыми объектами более раннего по отношению к ним происхождения. Приведенные данные показывают, что этим образованиям свойственны много-

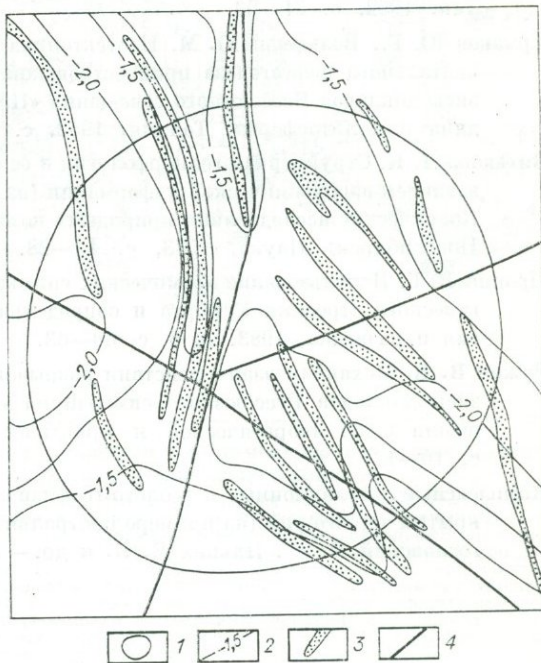


Рис. 3. Схема соотношения тектонических элементов докембрийского фундамента михайловской узловой структуры.

1 — граница структуры; 2 — изодинамы; 3 — участки различной намагниченности докембрия; 4 — линейные элементы.

актная тектоническая и магматическая деятельность, определенный и длительно сохраняющийся эндогенный режим и новейшая активность, позволяющая изучать их с помощью дистанционных материалов.

Показателем эндогенной активности является связь узлов не только с изометричными структурами, но и с их скоплениями. Подобные примеры имеют место для следующих узлов: Коронецкого, Тайвалкосского и многих других. Около них концентрируется 4—5 и более изометричных объектов, часть которых соответствует интрузивным образованиям кислого и основного состава.

Приведенные данные позволяют установить основные особенности узлов: пересечение нескольких разломов разных направлений от тройного сочленения и более; значительная сфера влияния (от нескольких до сотен километров); проявление по периферии круговых и дуговидных разломов; различная ориентировка и степень раздробленности структурных комплексов земной коры; дифференцированные подвижки блоков, группирующиеся вокруг центрального поднятия или впадины; длительный и разнообразный по составу магматизм; повышенная активность по отношению к сопредельным участкам, выражающаяся в настоящее время в виде значительной вертикальной расчлененности земной поверхности; активность входящих в систему узла разломов древнего заложения; закономерное сочетание геофизических аномалий (схождение в один центр, пересечение и др.). Таким образом, узлы представляют собой участки высокой проницаемости и повышенной раздробленности и механизм перераспределения энергии в земной коре через входящие в его состав разрывные нарушения. Активность одного из них определяет подвижность других нарушений.

ЛИТЕРАТУРА

- Боровиков А. М., Ковалевский В. Е., Прусевич Д. А. Стандартизованная методика серийного дешифрирования космоснимков с многократным контролем сходности по материалам Сибири.— В кн.: Космические методы изучения природной среды Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1983, с. 100—114.
- Вольперт М. И., Востоков Е. Н. Узловые структуры земной коры и особенности современных движений в их пределах.— В кн.: Тезисы докладов Всесоюзного совещания «Проблемы неотектоники и современной дислокации литосферы». Таллин, 1982, с. 91—93.
- Ермаков Ю. Г., Вольфман Ю. М. Неотектоника и современная динамика зон континентального рифтогенеза приднестровской части Русской плиты.— В кн.: Тезисы докладов Всесоюзного совещания «Проблемы неотектоники и современной динамики литосферы». Таллин, 1982, с. 109—111.
- Зятькова Л. К. Структурная геоморфология и ее основные проблемы в связи с использованием аэрокосмической информации (на примере Западной Сибири).— В кн.: Космические исследования природных комплексов Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1983, с. 14—28.
- Пронин В. Г. Использование космических снимков при выявлении особенностей геологического строения Устюрта и сопредельных площадей.— Изв. вузов. Геология и разведка, 1983, № 8, с. 60—63.
- Ружич В. В. Механизм взаимодействия разрывов в местах пересечения.— В кн.: Тезисы докладов Всесоюзного симпозиума «Экспериментальная тектоника в решении задач теоретической и практической геологии». Новосибирск, 1982, с. 10—12.
- Комплексные дистанционные и геолого-геофизические исследования земной коры закрытых территорий (на примере центральной части КМА)/Трофимов Д. М., Богословский В. А., Ильина Е. Б. и др.— М.: ВИНТИ, 1984.— 280 с.

МЕТОДЫ СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПОИСКАХ ГИПЕРГЕННЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ

Алтае-Саянская горная область является частью обширных активизированных горных сооружений юга Сибири [Зяткова, 1969, 1973, 1979; Рудные формации Тувы, 1981]. В нее входит система субширотных структур с менее активными движениями, таких как Убсунурская впадина, Центрально-Тувинская депрессия, Минусинские впадины и разделяющие их Таннуольское, Западно-Саянское, Батеневское, Аргинское поднятия, образующие обширный Хакасско-Монгольский прогиб (см. рисунок). Эта система ограничена более активными зонами на западе Алтайского, на востоке Восточно-Саянского, Забайкальского, Восточно-Тувинского горных поднятий, испытавших большие вертикальные смещения и молодой вулканизм.

Основными факторами развития рельефа Алтае-Саянской горной области были общие глыбовые движения, излияния базальтов в Восточной Туве, неоднократные оледенения, интенсивные эрозионные процессы, денудация, происходившая в условиях континентального климата. Палеогеоморфологические реконструкции помогают выявлять древние поверхности выравнивания с древними корами выветривания, изучать особенности развития современного рельефа Алтае-Саянской горной области,

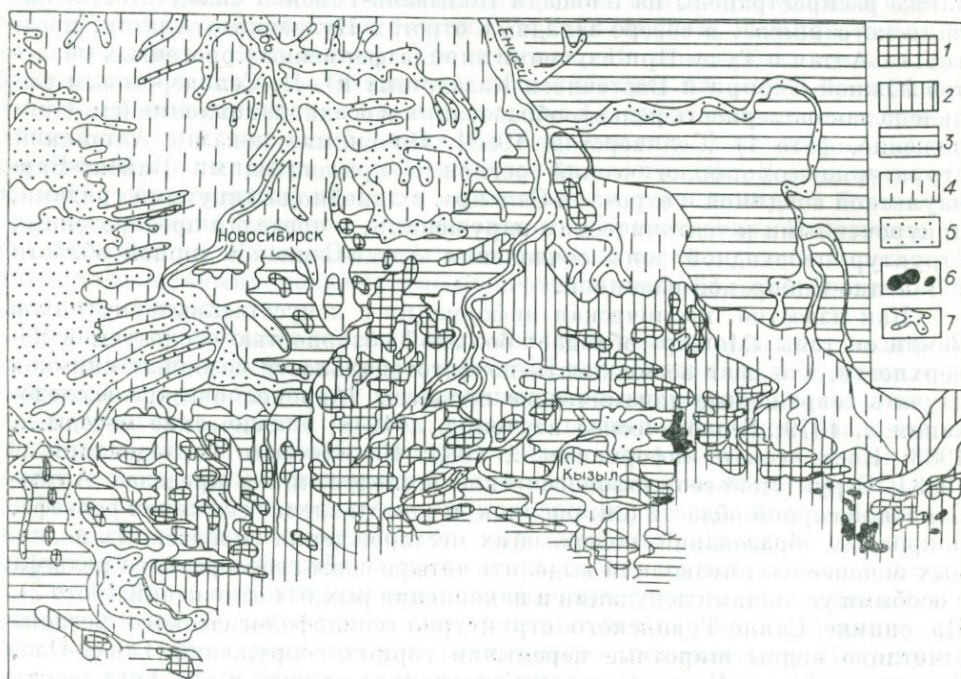


Схема основных зон рельефообразующих процессов и современного осадконакопления Алтае-Саянской горной области и прилегающих районов.

1—5 — зоны: 1 — комплексных денудационных процессов с широким распространением поверхностей выравнивания, с корами выветривания и продуктами их ближайшего перемещения, 2 — склоновых процессов и интенсивно расчлененного рельефа с делювиально-пролювиальными отложениями, с корами выветривания вторичного залегания, 3 — денудационно-аккумулятивных процессов слабо расчлененного рельефа с делювиально-пролювиальными отложениями, 4 — аккумулятивно-денудационных процессов слабо расчлененных низкогорий с корами выветривания с хорошо сортированной промытой вмещающей массой, с лессовыми породами, 5 — аккумулятивных процессов, аллювиально-озерных отложений с погребенными корами выветривания; 6 — районы молодого вулканизма — распространение третичных и четвертичных базальтов; 7 — долины рек с эрозионно-аккумулятивными процессами, формирующими террасовые комплексы.

устанавливать древние области сноса, районы накопления отложений, связанных с переотложенными корами выветривания. Известно, что рельефо- и корообразование — это единый процесс, который на всех этапах становления и развития рельефа имеет свои коры выветривания. Облик коры выветривания, ее строение определяются как рельефом, так и всей совокупностью геолого-географических процессов, преобразующих земную поверхность [Нестеренко и др., 1969; Селиверстов, 1975].

Среди гипергенных полезных ископаемых, связанных с корами выветривания, наибольшее значение имеют остаточные образования, возникшие за счет накопления полезных компонентов при выщелачивании и выносе прочих минеральных веществ, составляющих исходную породу.

Поиск гипергенных полезных ископаемых связан с изучением и картированием кор выветривания, фиксирующим определенный рельеф. Остаточные месторождения кор выветривания, такие как месторождения бокситов, железных руд, каолинов и др., формируются в определенных горизонтах кор выветривания, образование которых зависит от климата, рельефа, состава исходных пород, гидрологических и геоморфологических особенностей.

Слабый размыв кор выветривания, а также слабо расчлененный рельеф приводят к образованию вторичных залежей вблизи от остаточных месторождений. Как отмечал Ю. П. Селиверстов [1975], формирование таких залежей связано с удалением глинистых составляющих и концентрацией полезных ископаемых. Г. В. Нестеренко и др. [1969], Ю. П. Селиверстов [1975] отмечали, что коры химического выветривания домезозойских пород на юге Западной Сибири, в Туве, за исключением горных сильно расчлененных районов, имеют широкое, почти площадное распространение, залегая в основании рыхлых мезокайнозойских толщ. Они широко также распространены на площади Кольвань-Томской складчатости, Салаирского кряжа, в северо-западных отрогах Кузнецкого Алатау, предгорьях Алтая и Туве. При изучении эциплатформенных орогенных областей Южной Сибири и Восточного Казахстана Ю. П. Селиверстовым выявлена закономерность рельефообразования и осадконакопления (см. Приложение, фото 1) [Селиверстов, 1985]. На снимке показан Алтайский структурно-геоморфологический регион с прилегающими Бийско-Барнаульской впадиной и отрогами Салаира, с линейно вытянутыми грядами, приуроченными к тектоническим нарушениям, в пределах предорогенных структур переходной зоны сочленения Алтае-Саянской горной области с Западно-Сибирской равниной.

Как известно, космическая информация с искусственных спутников Земли системы «Метеор» обладает большой обзорностью исследуемой поверхности, что дает возможность по фототональности сезонных снимков изучать современные динамические процессы [Аэрокосмические исследования..., 1979; Геологическое изучение..., 1978; Космические методы..., 1983; Космическая информация..., 1983; Космические исследования..., 1983]. Структурно-геоморфологические исследования в пределах Алтае-Саянской горной области (см. рисунок) и сопоставление со схемой рельефа, покровных образований, содержащих месторождения гипергенных полезных ископаемых, позволили выделить четыре зоны своеобразного рельефа с особыми условиями денудации и накопления рыхлых отложений (фото 2). На снимке Саяно-Тувинского структурно-геоморфологического региона отчетливо видны широтные перемычки горных сооружений Танну-Ола, Западного Саяна, Батеневского и Солгонского кряжей и хр. Арга между Тувинскими и Южно-, Средне- и Северо-Минусинскими впадинами, образующими обширный Хакасско-Монгольский прогиб, расположенный между Алтайским и Восточно-Саяно-Хангайским поднятиями. Отчетливо прослеживаются Хакасско-Монгольский прогиб с обширными впадинами, с зонами менее активного сейсмического проявления, Убсунурская, Хемчикская, Улугхемская и Минусинские впадины, разделенные широтными перемычками горных хребтов, Алтайское и Восточно-Саяно-Хангайское поднятия с внутригорными узкими, приразломными впадинами, с зонами

активного сейсмического проявления. На основании проработки таких материалов, анализа карт четвертичных отложений, геоморфологических и геологических данных была составлена схема основных зон рельефообразующих процессов и современного осадконакопления Алтае-Саянской области. Выяснилось, что выделенные зоны хорошо согласуются со схемой основных зон рельефообразующих процессов и современного осадконакопления.

В первой зоне комплексных денудационных процессов широко развиты поверхности выравнивания, коры выветривания и продукты их ближайшего перемещения. Наибольшее их распространение наблюдается в Кузнецком Алатау, в районах сопряжения Алтая, Западного Саяна в виде обширных локальных районов — в Восточном и Западном Саянах, Восточном и Западном Танну-Ола, на Сангиленском нагорье. Расположение этих площадей контролируется глубинными разломами Сисимо-Казырским (Восточно-Саянским), Саяно-Тувинским, Таннуольским, Убусунур-Таннуольским.

Вторая зона — зона склоновых процессов и интенсивно расчлененного рельефа с делювиально-коллювиально-пролювиальными отложениями, с корами выветривания вторичного, переотложенного залегания. Она охватывает большую часть указанных горных сооружений как Тувы, так и всей Алтае-Саянской горной области.

Третья — зона денудационно-аккумулятивных процессов слабо расчлененного рельефа — предгорий, низкогорий с делювиально-пролювиальными отложениями, с переотложенными и погребенными корами выветривания.

Четвертая — зона аккумулятивно-денудационных процессов, слабо расчлененных предгорных и межгорных впадин с корами выветривания, с хорошо сортированной промытой вмещающей массой; расположена в пределах межгорных впадин, приуроченных к синклиналям, мульдам, таким как Хемчикская, Кызыльская, Убусунурская. В межгорных впадинах, образованных на месте опустившихся тектонических блоков, в пределах антиклинальных структур и древних массивов с преобладанием восходящих тектонических движений, таких как Улугхемская, Тоджинская, коры выветривания перенесены на незначительное расстояние. В межгорных впадинах, образованных на месте опустившихся тектонических блоков, таких как Турано-Уюкская, Элегестовская, Терехольская, Сарлигхемская, Каргинская, Усинская, коры выветривания часто перекрыты лессовыми, аллювиальными, делювиально-пролювиальными и флювиогляциальными отложениями.

Рельеф исследуемого региона образовался в основном за счет поднятых на незначительную высоту поверхностей выравнивания, подвергшихся интенсивному эрозионному расчленению и последующему оледенению. Гипсометрические уровни ярусов рельефа вызвали большое различие в интенсивности и разнообразии экзогенных процессов, связанных с эрозией, оледенениями, физическим, морозным выветриванием, нивально-солифлюкционными, термокарстовыми процессами, что привело к образованию денудационных поверхностей выравнивания. Древние долины, занимающие опущенные грабены, послужили основными каналами «сползания» ледников, а выровненные приподнятые поверхности стали локальными «шапками» — «ледоемами». Из-за постепенного таяния ледников на месте выпавших трогой имеют незначительную протяженность. Поэтому можно предполагать, что материалы древних кор выветривания, распространенных на водоразделах, сносились на незначительное расстояние. Немаловажное значение в распределении гипергенных полезных ископаемых играют разломы и активизация новейших тектонических движений по ним, особенно в зонах дробления, трещиноватости, морфоструктурных «узлах» как в сейсмически активных районах.

Морфоструктурные узлы являются районами возможного рудопроявления, так как представляют собой более ослабленные очаги, по которым могут подниматься гидротермальные растворы и в которых более интен-

сивны тектонические движения. Среди дизъюнктивных структур Алтае-Саянской горной области распространены в основном субмеридиональные и субширотные разломы. Оба направления разломов хорошо просматриваются на космических снимках. В разрывных структурных зонах дробления, выявленных по телевизионным космическим снимкам с искусственных спутников Земли системы «Метеор», выделяется наиболее обширная — Агордаг-Эрзинская. На проявление новейших тектонических движений большое влияние оказывают субширотные разломы Восточно-Тануольского, Сангиленского и Каахемского блоков, которые пересекаются зонами разломов субмеридионального направления. В исследуемом районе по разлому вдоль долины р. Эрзин хорошо просматривается неширокая полоса интенсивного дробления, четко подчеркивающаяся аномальными падениями рек.

Таким образом, комплексный структурно-геоморфологический анализ, сопровождаемый дешифрированием космических фотографий и морфометрической обработкой картографического материала, позволил выявить следующие основные закономерности.

Распространение областей сноса и аккумуляции определено блоковым строением.

Остаточные-вершинные поверхности — ярусы рельефа — свидетельствуют о длительном спокойном режиме, обусловившем образование кор выветривания.

Локальные «ледоемы», постепенное их таяние, незначительная протяженность троговых долин, пологие склоны, выровненные поверхности — все это обеспечило недалекий разнос древних выветрелых отложений, которые могут встречаться в моренах, делювиально-пролювиальных и флювиогляциальных отложениях на склонах.

Аномальные зоны падения рек свидетельствуют об активизации тектонических движений.

Морфоструктурные «узлы» — пересечения разнонаправленных разломов — обуславливают активизацию тектонических движений в этих районах, считаются наиболее активными зонами рудопроявления, новейших тектонических движений и сейсмичности. Проведенные исследования еще раз подтверждают, что только совместный анализ материалов космических съемок геологических и геоморфологических наблюдений, построение серии морфометрических карт позволяют прогнозировать открытие новых месторождений гипергенных полезных ископаемых, в том числе в Алтае-Саянской горной области и других районах Сибири при аналогичных условиях.

В целом структурно-геоморфологические исследования с использованием аэрокосмической информации и ЭВМ дадут новый дополнительный материал для успешной разработки проблемы и решения палеогеоморфологических реконструкций.

ЛИТЕРАТУРА

- Аэрокосмические исследования природных ресурсов Сибири и Дальнего Востока. — Новосибирск: изд. ИГиГ СО АН СССР, 1979. — 154 с.
- Геологическое изучение Земли из космоса. — М.: Наука, 1978. — 225 с.
- Зяткова Л. К. Тува. — В кн.: Алтае-Саянская горная область. М.: Наука, 1969, с. 333—362.
- Зяткова Л. К. Новейшая тектоника Западного Саяна. — Новосибирск: Наука, 1973. — 174 с.
- Зяткова Л. К. Структурная геоморфология Алтае-Саянской горной области. — Новосибирск: Наука, 1979. — 243 с.
- Космическая информация в геологии. — М.: Наука, 1983. — 536 с.
- Космические исследования природных комплексов Сибири и Дальнего Востока. — Новосибирск: Наука, 1983. — 176 с.
- Космические методы изучения природной среды Сибири и Дальнего Востока. — Новосибирск: Наука, 1983. — 193 с.
- Нестеренко Г. В., Даргевич В. А., Ефодимов Е. И. Мезозойские и кайнозойские рос-

сыни на юге Западной Сибири. — В кн.: Геология россыпей юга Западной Сибири. М.: Наука, 1969, с. 5—31.

Рудные формации Тувы. — Новосибирск: Наука, 1981. — 198 с.

Селиверстов Ю. П. Изучение и картирование эпиплатформенного рельефа гор в связи с поисками гипергенных полезных ископаемых (на примере Западной Африки, Южной Сибири и Восточного Казахстана). — В кн.: Структурная геоморфология горных стран. М.: Наука, 1975, с. 256—262.

В. И. ВИТЯЗЬ, Ю. А. ЖУКОВИН, Л. Л. КУЗНЕЦОВ,
В. Д. НАКОРЯКОВ, П. П. СКОРОБОГАТЫХ

ДИСТАНЦИОННАЯ ИНФОРМАЦИЯ О РЕГИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

4705

Новые представления о региональных структурах обусловлены не только вовлечением в анализ дистанционных материалов, но и использованием системно-структурного подхода и пересмотром некоторых исходных данных на основе целевых геологических оценок. Результаты неоднократных обобщений геолого-геофизических данных, включая дистанционные материалы, свидетельствуют об относительном характере информации о геологических структурах. Обнаружены упорядоченность в размерах и в расположении структурных форм Сибирской платформы [Богацкий, 1980; Витязь, 1982]; устойчивость размеров крупных региональных элементов региона (например, размеры Тунгусской синеклизы 850×780 км, Анабарской антеклизы 900×700 км) [Тектоника Сибири, т. VIII, 1980]. Размерам синеклизы и антеклизы близка протяженность краевых морфоструктур: в частности, Витимо-Патомского нагорья — 680 км, поднятия Енисейского кряжа — 650, юрско-четвертичных прогибов Присяянской зоны — 800, Туруханско-Норильской гряды — 700 и Верхоянского выступа — 800 км. Палеотектонические реконструкции опознают среди крупных позднерифейских структурных форм системы линейных перикратонных прогибов в районе Енисейского кряжа (700×300 км) и Ийско-Туманшетского Присяянья (650×100 км) [Геологическое строение..., 1983]. Прогибы и поднятия вендско-раннепалеозойского, среднепалеозойско-триасового и юрско-четвертичного тектонических этапов часто характеризуются крупными размерами и изометричными формами [Геология..., 1981; Тектоника Сибири, т. VIII, 1980; Хаин, 1979]. Целевая задача исследования — опознание крупных региональных структур (КРС) Сибирской платформы протяженностью 1000—510 км, четко проявленных в строении платформенного чехла и фундамента, исследование их границ, истории развития и перспектив нефтегазоносности. От цели исследования, как известно, зависит выбор системы отсчета [ФЭС, 1983]. Объем осадочного выполнения служит основой тектонического районирования платформенного чехла, а региональные аномалии магнитного поля определяют главным образом структуру и вещественные особенности фундамента [Геологическое строение..., 1983; Яншин и др., 1983]. Именно поэтому в основу районирования региона положены структурные особенности и мощности платформенного чехла, строение региональных аномалий магнитного поля. Опознано семь КРС (рис. 1). Уточнены контуры четырех крупнейших структур: Тунгусской, Вилюйской синеклиз, Анабарской антеклизы и Ангаро-Ленской ступени. Выявлены Вилюйско-Катангская, Катангско-Ловина, Енисейско-Байкитская и Таймырско-Хатангская тектонические структуры. Опознанные КРС отчетливо проявлены на сверхмелкомасштабных телеснимках (ТВС) специфичным фототонном, рисунком фотоизображения. Вдоль контуров КРС нередко фиксируются полосы, дуговые и линейные элементы. Для характеристики КРС выполнены: целевое дешифрирование сверхмелкомасштабных ТВС; генерализация и фильтрация



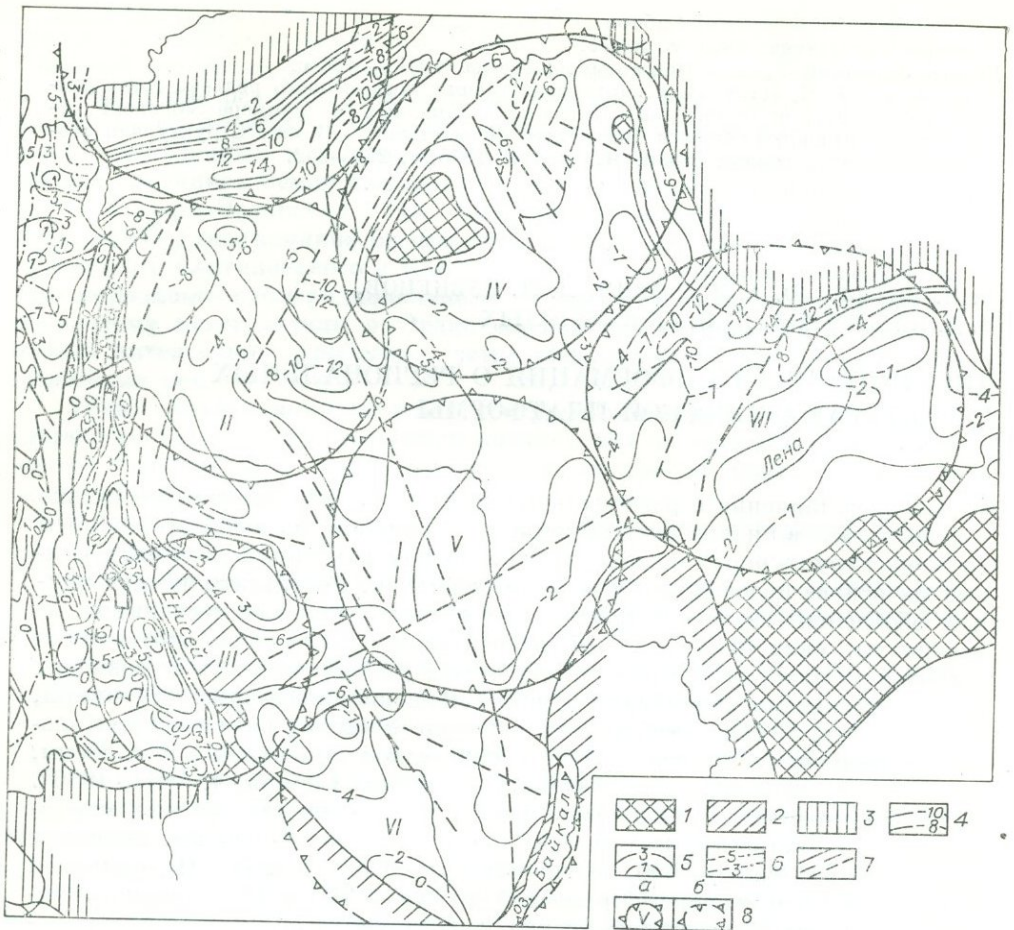


Рис. 1. Схема поверхности фундамента и крупных региональных структур (КРС) платформенного чехла Сибирской платформы.

1 — выступы раннедокембрийского фундамента; 2, 3 — складчатые обрамления (2 — Сагайское, 3 — салаирско-мезозойское); 4 — изогипсы подошвы чехла Сибирской платформы; 5 — изопохиты промежуточного яруса; 6 — изогипсы подошвы юрско-меловых отложений Западно-Сибирской плиты; 7 — разломы; 8 — контуры КРС и их номера (а — уверенные; б — предполагаемые). I—VII — крупные региональные структуры.

кольцевых и дуговых элементов, отдешифрованных на мелкомасштабных теле- и космоснимках; ранжирование региональных аномалий магнитного поля, остаточных аномалий силы тяжести и полей суммарной продольной проводимости платформенного чехла; генерализация разрывных нарушений, траптовых интрузий, картируемых геологической съемкой, гипсометрических отметок и расчлененности рельефа дневной поверхности; частичный анализ маршрутов глубинных сейсмозондирований. Генерализация геолого-геофизических данных выполнена с использованием двух элементарных ячеек-трапеций международной разграфки: масштаба 1 : 200 000 (диагональ 70—95 км) и масштаба 1 : 500 000 (диагональ 240—300 км).

Структурные элементы характеризуются тенденцией преимущественного поднятия или опускания в активные тектонические этапы. Тунгусская синеклиза представляет собой область глубокого погружения кровли фундамента с мощностью платформенного чехла до 6—10 км и преимущественным прогибанием в вендско-раннепалеозойский и среднепалеозойско-триасовый этапы. Вилюйская синеклиза, охватывая серию глубоких прогибов и северный склон Алданской антеклизы, оказывается асимметричной зоной прогибания вендско-раннепалеозойского и юрско-четвертичного тектонических этапов. Енисейско-Байкитская тектонопара — это система

близких по площади двух структурных элементов: поднятий Енисейского кряжа — Камовского свода, называемых иногда гемиянтеклизой [Хаин, 1979], и глубоких палеозойских впадин юго-востока Западно-Сибирской плиты, для которых подходит термин «тыловая депрессия» [Суворов, 1978]. Структурное единство двух крупных полярных элементов и объединение их в тектонопару обусловлены идентичностью фотоизображения на сверх-мелкомасштабных ТВС и структурными особенностями земной коры по данным глубинных сейсмозондирований. Вилюйско-Катангская седловина расположена в центральной области Сибирской платформы с мощностью чехла 2—4 км, отграничена на востоке, юго-востоке, северо-западе системой глубоких впадин и прогибов. На ТВС территория седловины отличается от соседних региональных структур малой контрастностью фотоизображения, серым и светло-серым фототонном. Линии, дугообразные полосы или смена рисунка фотоизображения проявляются прерывистыми отрезками длиной 100—250 км вдоль юго-восточного, восточного и северо-западного контуров седловины. В пределах седловины преобладают региональные отрицательные магнитные аномалии интенсивностью 1—2 мЭ и полосовые положительные аномалии магнитного поля интенсивностью до 3—4 мЭ. Вдоль северо-западного, западного и южного контуров седловины фиксируются дугообразные окончания и расширения положительных магнитных аномалий, северная, западная и южная границы проявлены полями повышенной плотности разрывных нарушений с расстоянием между ареалами от 200—300 до 450 км. Северная и северо-западная границы Тунгусской синеклизы совмещаются с полосами смены фоторисунка на ТВС, южная — проявлена слабым изменением фотоизображения и совпадает с дугообразной положительной магнитной аномалией, совмещенной с цепочкой локальных остаточных аномалий силы тяжести. Вдоль северо-восточной границы Тунгусской синеклизы располагается цепочка интрузий щелочно-ультраосновного состава. Северная граница Ангаро-Ленской ступени в междуречье Лены и Ангары дешифрируется на ТВС нечеткой размытой полосой сравнительно светлого фототона, западная дугообразная граница в междуречье Ангары и Уды дешифрируется по смене фототона и рисунка фотоизображения. Вдоль юго-западной, южной и восточной границ структуры фиксируются цепочки локальных изометричных или региональных линейных положительных магнитных аномалий, ступени остаточного поля силы тяжести, цепочки аномалий повышенной электропроводности (см. таблицу).

Спутниковая магнитная съемка на высоте 400—550 км фиксирует в пределах и по окраинам Сибирской платформы семь аномалий, в том числе три положительного и четыре отрицательного знака. Обе синеклизы отмечаются спутниковыми положительными аномалиями, смещенные относительно контура структур на четверть их размера к юго-востоку от Тунгусской и к югу от Вилюйской синеклиз. Таймырско-Хатангская и Енисейско-Байкитская тектонопары приходятся на седловинные области между парами смежных отрицательных и положительных спутниковых магнитных аномалий. Анабарская антеклиза располагается поперек региональной ступени спутникового магнитного поля и совмещается с крупной региональной аномалией низкой суммарной продольной проводимости платформенного чехла — 50—200 См.

На телеснимках подобно другим признаковым полям проявляются фрагменты КРС, т. е. отчетливо просматриваются или выявляются отдельные секторы и сегменты структур. Местами вдоль контуров фиксируются прямые и дуговые линии, полосы, цепочки аномального фотоизображения протяженностью 100—300 км. Общая длина дешифрируемых на отдельных типах снимков фрагментов составляет 10—15% общего контура КРС. В магнитном поле отчетливо проявляется 25—35%, в остаточных аномалиях силы тяжести — до 20% контура КРС. Важным свойством прямолинейных и дугообразных границ рассматриваемых структур является дискретность, проявленная чередованием по простиранию дизъюнктивных, магматических зон, пликативных форм, флексурных перегибов и зон ли-

Характеристика крупных региональных структур платформенного чехла Сибирской платформы

Структура (размер)	Структурная схема	Аномалия магнитного поля $h=200$ м	Спутниковое магнитное поле $h=400-550$ км
I. Таймырско-Хатангская тектонопара (950×800 км)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Уступы с юга и юго-востока на 0,3 контура 2. Прогиб, поднятие и терраса морская 3. 3 субширотных элемента 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Линейное направление изодинам 0,15 контура 2. Окончание отрицательного поля 3. 17 региональных аномалий 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Линейное направление изодинам 0,6 контура 2. Окончание отрицательного поля 3. Региональная положительная аномалия
II. Тунгусская синеклиза (850×750 км)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Склоны и краевые швы на 0,75 границы 2. Область прогиба до 6—8 км 3. 3 субмеридиональные структуры 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Линейное направление изодинам 0,2 контура 2. Западное окончание отрицательного поля 3. 14—15 региональных аномалий 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Линейное направление изодинам 0,7 контура 2. Положительная аномалия 3. 3 положительные и одна отрицательная аномалии
III. Енисейско-Байкитская тектонопара (700×650 км)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Склоны и окончания структур на 0,3 контура 2. Поднятие, выступ и впадина 3. 6—9 региональных структур 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Окончания и пережимы аномалий 2. Часть отрицательной аномалии 3. 12 региональных аномалий 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Линейное направление изодинам 0,5 контура 2. Седловинная область между парами положительных и отрицательных аномалий 3. Спокойное поле
IV. Анабарская антеклиза (1000×700 км)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Краевые швы, прогибы, ступени на 0,75 контура 2. Область поднятий с мощностью чехла до 1—2 км 3. 5—6 региональных структур 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Линейное направление изодинам 2. Центральная часть отрицательного поля 3. 22 региональные аномалии 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Линейное направление изодинам 0,3 контура 2. Ступень поля северо-западного простирання 3. Спокойное поле
V. Вилюйско-Катангская седловина (860×750 км)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Краевой шов, склоны на 0,3 контура 2. Область умеренных поднятий 3. 6 региональных структур 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Линейное направление изодинам 0,2 контура 2. Центральная расширенная часть положительного поля 3. 16—18 региональных аномалий 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Линейное направление изодинам и окончания аномалий 0,7 контура 2. Окончание отрицательного поля 3. Ступень поля
VI. Ангаро-Ленская ступень (750×670 км)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Краевые швы, ступени, склоны на 0,6 контура 2. Региональный склон к западу и северо-западу 3. 4—5 региональных впадин и поднятий 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Линейное направление изодинам параллельно 0,3 контура 2. Окончание положительного поля 3. 11 региональных аномалий 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Граница не выражена 2. Окончание двух отрицательных аномалий 3. Спокойное поле
VII. Вилюйская синеклиза (850×700 км)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Склоны, выходы архея, замыкания структур на 0,5 контура 2. Серия прогибов, склон щита 3. 6—10 региональных структур 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Линейное направление изодинам 0,2 контура 2. Положительное поле 3. 16 региональных аномалий 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Линейное направление изодинам 0,3 контура 2. Положительное и окончание отрицательного полей 3. 2 региональные аномалии по периферии

Примечание. Арабскими цифрами обозначено проявление границы (1), общего контура (2) и составных элементов (3).

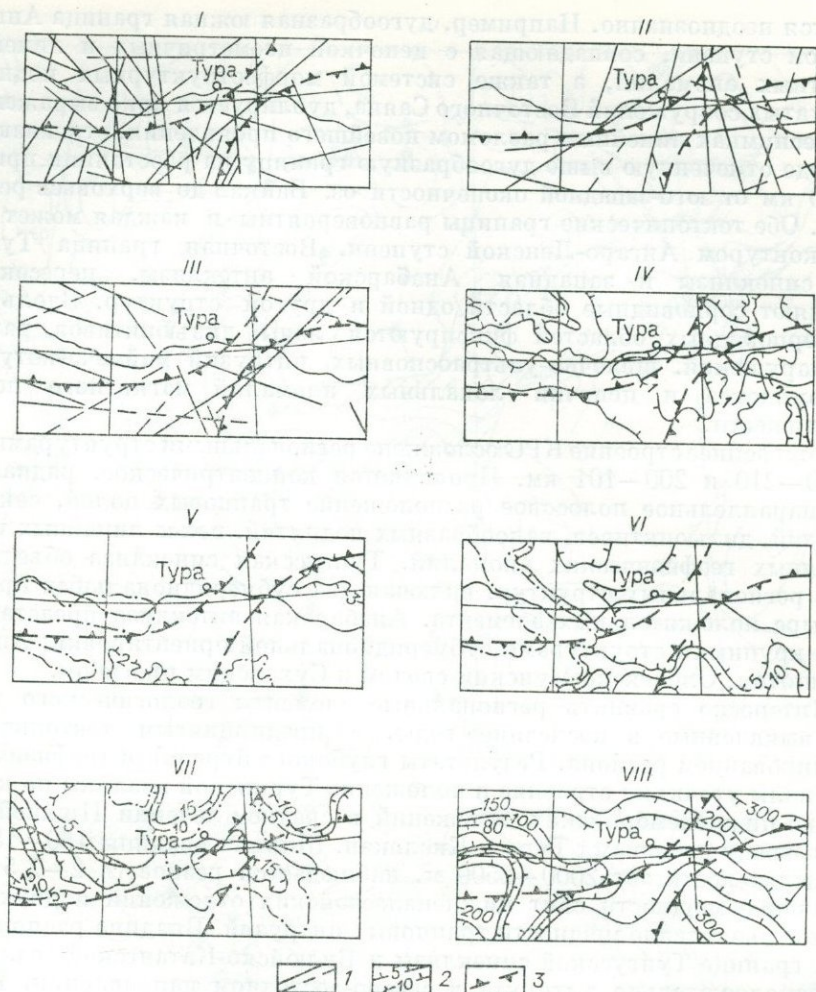


Рис. 2. Проявление контуров юго-востока Тунгусской синеклизы и северо-запада Вилуйско-Катангской седловины в признаковых полях: дизъюнктивов, выявленных на телеснимках: (I) — четкие (Б. Я. Пономарев и др., 1975 г.); (II) и (III) — рангов 1000—510 и 500—210 км (В. Я. Ероменко, 1977 г.); магнитных аномалий ранга 1000—510 (IV) и 500—210 км (V); остаточных аномалий силы тяжести ранга 1000—510 (VI); 500—210 км (VII); VIII — морфоструктур поля верхних отметок рельефа.
 1 — оси региональных дизъюнктивов; 2 — изодинамы, изоаномалы, изогипсы; 3 — контуры синеклизы и седловины.

толого-стратиграфического выклинивания осадочных толщ. Чередование перечисленных геологических элементов фиксируется сменой вдоль контура структур признаков границ, когда одни секторы КРС отчетливо выражены полосами, линиями на телеснимках и переходят по простиранию в линейные геофизические аномалии, ступени полей, уступы в рельефе, цепочки интрузивных тел или локальных элементов признаков полей. Юго-восточная граница Тунгусской синеклизы и северо-западная Вилуйско-Катангской седловины ясно фиксируются то краем региональной магнитной аномалии, то уступом гипсометрической поверхности рельефа или дугообразным окончанием региональных дизъюнктивов (рис. 2). Ширина проявления структурных границ варьирует от 20—40 до 70—100 км. На каждом отрезке контура КРС признаки границы контрастно выражены одним-двумя, редко бóльшим числом геолого-геофизических полей. Тем самым обнаруживаются относительный характер геолого-геофизической информации, неоднородность строения и многоэтапность формирования крупных геологических структур. В некоторых случаях граница КРС фик-

сируется неоднозначно. Например, дугообразная южная граница Ангаро-Ленской ступени, совпадающая с цепочкой изометричных и линейных магнитных аномалий, а также системой морфоструктурных поднятий складчатых сооружений Восточного Саяна, дублируется ярко выраженным на телеснимках линейным разломом новейшего проявления, стягивающим по хорде отмеченную выше дугообразную границу на расстоянии примерно 350 км от юго-западной оконечности оз. Байкал до верховьев рек Ия и Уда. Обе тектонические границы равновероятны и каждая может служить контуром Ангаро-Ленской ступени. Восточная граница Тунгусской синеклизы и западная Анабарской антеклизы, пересекаясь, отчленяют серповидные области одной и другой структур. Вдоль границ серповидных областей фиксируются зоны дизъюнктивов, разрывных нарушений, щелочно-ультраосновных интрузий маймеча-котуйского комплекса и цепочки локальных аномалий магнитного поля и силы тяжести.

Внутреннее строение КРС осложнено региональными структурами ранга 500—210 и 200—101 км. Проявляется концентрическое, радиальное и субпараллельное полосовое расположение трапповых полей, секущих интрузий, дизъюнктивов, валлообразных поднятий, полос линейных и изометричных геофизических аномалий. Тунгусская синеклиза объединяет шесть региональных структур, включая два субмеридиональных прогиба и четыре положительных элемента. Анабарская антеклиза представлена тремя крупными структурами субмеридиональной ориентировки: Анабарским щитом, Оленекско-Мунским сводом и Суханским прогибом.

Интересно сравнить региональные элементы геологического строения, выявленные в последние годы, с предпринятым тектоническим районированием региона. Результаты глубокого бурения и геофизические материалы уточняют строение и положение Туринской впадины по кровле вендско-нижнекембрийских отложений в среднем течении Нижней Тунгуски между поселками Тура и Кислокан. Ширина впадины 150—180 км, амплитуда достигает 2000—2500 м, наблюдается резкое (в 2—2,5 раза) увеличение мощности свит нижнепалеозойских отложений и двух-трехкратное увеличение мощности трапповых интрузий. Впадина располагается на границе Тунгусской синеклизы и Вилюйско-Катангской седловины и предположительно вытянута в северо-восточном направлении. Глубоким бурением в комплексе с геофизическими данными на Кююмбинской, Юрубченской, Байкитской, Кочумдекской, Ербогаченской площадях вскрыты блоки кристаллического фундамента с амплитудой поднятия первые сотни — первые тысячи метров. Размеры блоковых поднятий составляют десятки — первые сотни километров в поперечнике, что позволяет отнести их к рангу крупных локальных и региональных структур. Из пяти блоковых поднятий четыре расположены на границах КРС. Иначе говоря, высокоамплитудные тектонические поднятия и прогибы в платформенном чехле часто формируются в зонах сочленения и на периферии крупных региональных структур.

Вилюйско-Катангская седловина в рифейский этап представляла крупнейшую структуру региона, от которой веером расходилась система глубоких грабенообразных прогибов: на восток — Центрально-Вилюйский, на север — Уджинский и Маймеча-Котуйский, на юго-запад — Иркинево-Чадобецкий [Геологическое строение..., 1983]. В вендско-среднепалеозойский этап на седловине закладывались малоамплитудные изометричные впадины и поднятия, осложненные системой субпараллельных крупных региональных дизъюнктивов, четко фиксируемых на телеснимках. В позднепалеозойское время преобладает сжатие и воздымание седловины, формирование дизъюнктивов северо-восточного простирания, закладывается отчетливый радиальный рисунок тектонических структур: субмеридиональные поля трапповых даек в междуречье Нижней Тунгуски и Вилюя, северо-западная полоса разрывных нарушений вдоль Нижней Тунгуски, валлообразные поднятия типа Тэтэринско-Чадобецкого мегавала

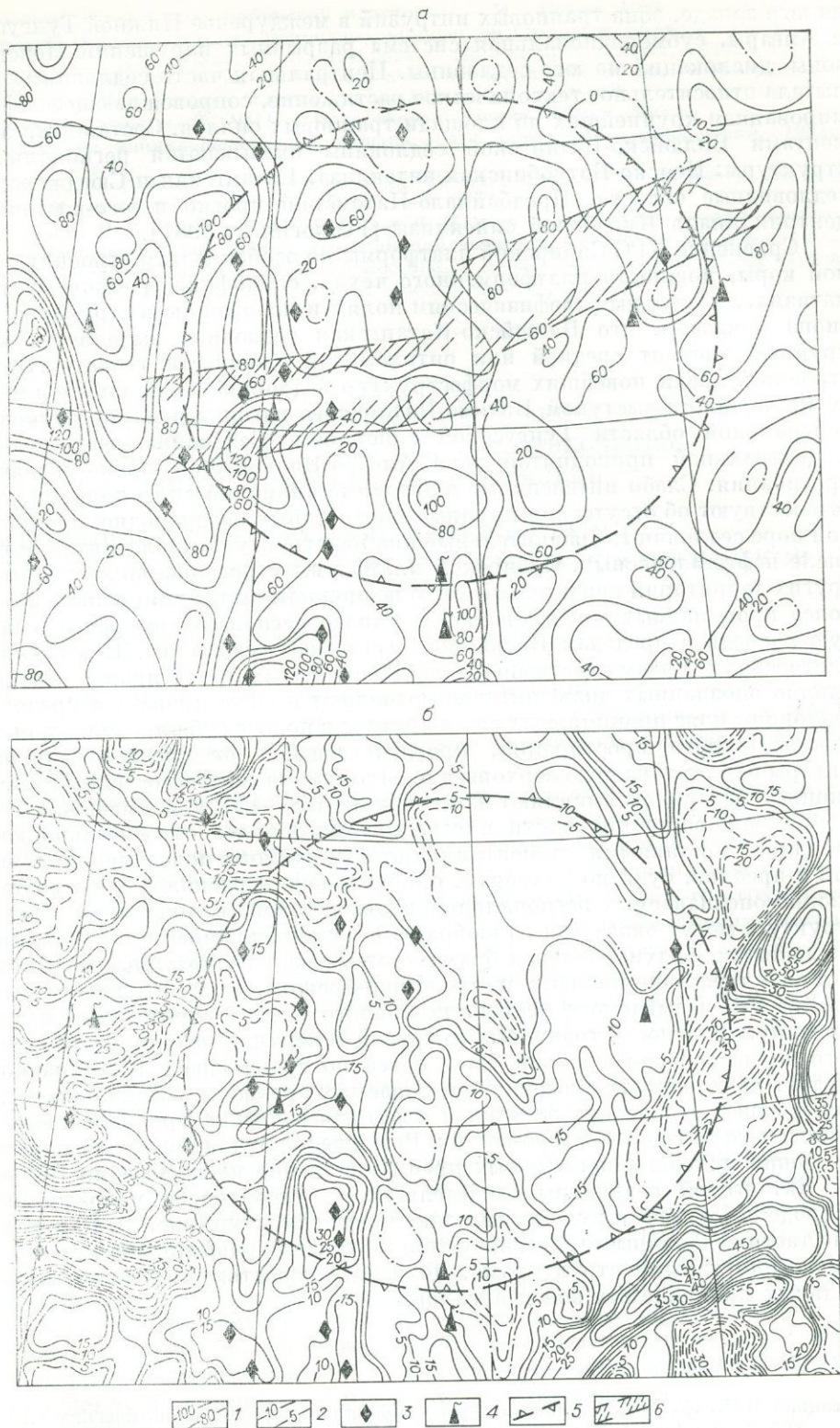


Рис. 3. Признаковые поля Виллойско-Катангской седловины (а — плотность четких линейментов, выявленных на телеснимках Б. Я. Пономаревым и др., 1975 г.; б — изоаномалы региональных остаточных аномалий силы тяжести).

1 — изолинии плотности линейментов в м/кв. мин; 2 — изоаномалы; 3, 4 — проявления полезных ископаемых: 3 — рудных и нерудных, 4 — нефти и газа; 5 — контуры седловины; 6 — прогнозируемый пояс проницаемых зон и ареалов.

на юго-западе, зона трапсовых интрузий в междуречье Нижней Тунгуски и Ангары, субмеридиональная система разрывных нарушений Непской зоны дислокаций на юге седловины. Центральная часть седловины испытала относительное тектоническое растяжение, сопровождающееся формированием крупнейших по площади трапсовых силлов. Составными элементами Вилюйско-Катангской седловины оказываются региональные структуры: Непско-Ботуобинская антеклиза, Катангская и Сюгджерская седловидные области, Предбайкало-Патомский прогиб и юго-восточная центриклиналь Курейской синеклизы [Геология..., 1981].

Сравнение КРС Сибирской платформы по особенностям строения земной коры, мощности платформенного чехла, специфике трапсового магматизма, аномальным геофизическим полям и положению в структуре региона показало, что Вилюйско-Катангская седловина выделяется как крупный элемент средней или оптимальной сложности геологического строения. Среди новейших морфоструктур седловина располагается между крупнейшим выступом Витимо-Патомского нагорья и плато Путорана центральной области Тунгусской синеклизы. Седловина расположена в центральной приподнятой зоне Ангаро-Вилюйского юрско-мелового прогибания. Слабо интенсивные остаточные аномалии силы тяжести свидетельствуют об отсутствии крупных плотностных неоднородностей в земной коре седловины. Сравнительный анализ структурных элементов, в том числе нефтегазоносных, Сибирской платформы и региональных структур других территорий свидетельствует о возможном выявлении областей или пояса проницаемых зон и ареалов крупного регионального ранга в первую очередь в пределах Вилюйско-Катангской седловины. Повышенная плотность и преимущественная меридиональная ориентировка дистанционно опознанных дизъюнктивов позволяют прогнозировать в пределах седловины пояс проницаемых зон и ареалов в полосе субширотного или северо-восточного простирания, протягивающейся от среднего течения Ангары на юго-западе до верховьев р. Ыгыатта на северо-востоке. Дистанционные материалы выявляют на меридиане 108—109° в. д. смещение к северу северо-восточной части прогнозируемого пояса относительно юго-западной. Составными элементами прогнозируемого пояса проницаемых зон и ареалов, судя по размерам, ориентировке и расположению дистанционно опознаваемых региональных дизъюнктивов, дуговых и кольцевых структур, могут оказаться валообразные поднятия, линейные антиклинали, цепочки брахискладок и брахиформные малоамплитудные поднятия, а также трещинно-поровые и трещинно-брекчиевые субгоризонтальные ареалы так называемого неантиклинального типа. Ориентируясь на повышенную плотность трапсовых интрузий в верхних частях платформенного чехла северо-восточной зоны пояса по сравнению с юго-западной, следует предполагать смещение проницаемых ареалов и зон на более глубокие гипсометрические отметки и стратиграфические уровни в направлении с юго-запада на северо-восток. Размещение рудопроявлений и месторождений полезных ископаемых преимущественно на периферии Вилюйско-Катангской седловины свидетельствует, вероятно, о надразломной природе нефтегазо- и рудоносных локальных структур (рис. 3). Центральные части седловины характеризуются не только сравнительно крупными малоамплитудными структурами, но и возможностью выявления региональных проницаемых зон и ареалов.

ЛИТЕРАТУРА

- Богацкий В. В. Полярная доминантно-рецессивная анизотропия геологических структур и ее минерагеническое значение.— Докл. АН СССР, 1980, т. 252, № 1, с. 165—167.
- Витязь В. И. Периодичность размещения геологических структур платформенных областей Сибири.— М.: Недра, 1982.— 176 с.
- Геологическое строение нефтегазоносных провинций Восточной Сибири по геофизическим данным/Савинский К. А., Волхонин В. С., Лопатин С. С. и др.— М.: Недра, 1983.— 184 с.

- Геология нефти и газа Сибирской платформы.— М.: Недра, 1981.— 552 с.
- Космические исследования природных комплексов Сибири и Дальнего Востока/Отв. ред. А. Л. Яншин, Л. К. Зятькова.— Новосибирск: Наука, 1983.— 177 с.
- Суворов А. И. Новейшая глобальная кинематика литосферы (на основе региональных тектонопар).— Геотектоника, 1978, № 2, с. 3—18.
- Тектоника Сибири. Т. VIII.— Новосибирск: Наука, 1980.— 160 с.
- Физический энциклопедический словарь.— М.: Советская энциклопедия, 1983.— 928 с.
- Хани В. Е. Региональная геотектоника. Внеальпийская Азия и Австралия.— М.: Недра, 1979.— 356 с.
- Яншин А. Л., Зятькова Л. К., Шаранов В. П. и др. Комплексные методы обработки аэрокосмической фотонформации для выявления особенностей строения земной коры Сибири и Дальнего Востока.— В кн.: Космические методы изучения природной среды Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1983, с. 11—24.

П. М. БОНДАРЕНКО, А. М. БОРОВИКОВ, В. Н. ДЕМЕНТЬЕВ,
В. Е. КОВАЛЕВСКИЙ, А. С. ЛАПУХОВ, А. И. ПРОКОПЕНКО,
 А. А. ПРУСЕВИЧ, В. П. ПЯТКИН, М. Л. ШЕМЯКИН

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РАЗНОМАСШТАБНЫХ И РАЗНОАСПЕКТНЫХ КОСМОСНИМКОВ РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНОВ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Исследованиями с широким использованием различных космических снимков Земли для решения задач общей тектоники и тектонического районирования рудоносных и нефтегазоносных провинций охвачены обширные территории Сибири.

Параллельно с разворачиванием исследований в разных лабораториях и группах происходило освоение и усовершенствование методики геолого-структурного дешифрирования, а часть работ в НГУ имела чисто методическую направленность. В итоге из совокупности различных методических вариантов складывается единый комплексный метод геолого-структурного дешифрирования аэрокосмических материалов. Комплексная методика включает два последовательных этапа обработки космической информации: первичное дешифрирование (собственно дешифрирование) и геолого-геофизическая интерпретация схем дешифрирования, завершающаяся построением космогеологических карт и прогнозных схем разной специализации.

I. Этап первичного дешифрирования включает пять стадий: 1) подбор по заданному району комплексных серий КС для каждого масштабного уровня на основе анализа геоинформативности снимков и геофотогеничности ландшафтов; 2) фотопроеccionные и фототехнические предварительные преобразования КС; 3) специализированная предварительная обработка КС на цифровых и аналоговых ЭВМ, с использованием пакета программ (комплекс обработки изображений ВЦ СО АН СССР); 4) визуальное дешифрирование предварительно обработанных КС по геоиндикационному и системно-парагенетическому принципам, включающим и работу с ЭВМ в диалоговом режиме, а также параллельные процедуры пошагового контроля воспроизводимости результатов дешифрирования для выявления природных, технических, методических и субъективных помех и погрешностей и оценки полноты дешифрирования; 5) сопоставление результатов дешифрирования, полученных по разным сериям КС для каждого масштабного уровня, и построение сводных схем дешифрирования для масштабных уровней исследования как по всему региону, так и по отдельным узловым участкам разного ранга; структурно-морфологический анализ схем дешифрирования и выявление структурных парагенезисов разного типа в составе структурных рисунков.

II. Этап геолого-геофизической интерпретации схем дешифрирования включает также пять стадий: 1) подбор для каждого масштабного уровня исследований однородных по сопоставимости и глубинности геологических, геофизических, геохимических, тектонических, тектонофизических, сейсмотектонических, геоморфологических и других материалов; 2) проведение качественных и количественных сопоставлений (геометрическими и статистическими методами) схем дешифрирования каждого уровня с соответствующим комплексом картографических и текстовых материалов, а также с вариантами принятых нами рабочих гипотез; уточнение геоиндикационных признаков дешифрированных элементов и выявление новых геоиндикационных признаков, обоснование геологической природы и глубинности дешифрированных структурных элементов, их систем и структурных парагенезисов; 3) специальный анализ и проверка принятых рабочих гипотез о пространственных соотношениях на площади между дешифрированными структурами и теми геологическими объектами, которые являются непосредственным предметом тематического исследования (т. е. объектами типа рудных или нефтегазовых месторождений, центров вулканизма и вулканотектонических структур, интрузивных комплексов и других конкретных геологических формаций, сейсмотектонических зон, определенных типов тектонических форм, полей тектонических напряжений и деформаций и т. п.); типизация отношений на площади и в объеме земной коры и выявление закономерностей структурных и структурно-вещественных парагенетических ассоциаций, в том числе с помощью математической обработки картографической информации на ЭВМ; 4) завершающая наземная проверка результатов путем проведения полевых заверочных работ по маршрутным пересечениям и на ключевых участках с параллельным полевым дешифрированием аэрофотоснимков (АФС) и космofотоснимков (КФС); 5) составление окончательного варианта серии космогеологических карт разного масштаба и разной глубинности — космоструктурных карт, тематических схем, прогнозных карт и т. п.

Комплексное дешифрирование в полной совокупности всех этапов, стадий, подстадий и приемов применялось до сих пор в ограниченном числе случаев (Рудный Алтай, Восточный Саян, Камчатка, Сихотэ-Алинь), но в сокращенных вариантах комплексной методики такое дешифрирование применялось нами везде. Так, на всех территориях анализировались геологическая фотогеничность ландшафтов и геоинформативность КС, использовались серии разноаспектных и многозональных КС малого и среднего разрешения, почти везде — КФС большого разрешения; для детализации и проверки применялись АФС разных масштабов; проводились сопоставления не только с геологическими и тектоническими, но и непосредственно с геофизическими картами, прежде всего магнитными; проводились наземные заверочные маршруты и детальные съемочные работы на ключевых в геоиндикационном отношении участках. Полная система пошагового контроля всех погрешностей дешифрирования, количественных оценок воспроизводимости, достоверности и полноты промежуточных и конечных результатов с применением приема стандартизованных картографических сопоставлений была реализована на территориях Иркутского амфитеатра, Непского свода и юго-восточной окраины Тунгусской синеклизы, Восточного Саяна, юго-восточного сектора Западно-Сибирской плиты, Рудного Алтая и Восточного Сихотэ-Алиня.

Все эти методические исследования показали, что при комплексном дешифрировании разномасштабных серий аэрокосмоснимков полнота космогеологических карт может быть повышена на многие десятки процентов, а их достоверность (воспроизводимость) при количественном контроле может быть доведена до 75—95%, что отвечает условиям наиболее точных геологических и геофизических карт. Следует отметить, что сопоставление публикуемых в мире космогеологических схем по совпадающим территориям показало их среднюю воспроизводимость друг относительно друга в пределах 30—60%, что отвечает низким условиям, допускаемым только

в тематическом картографировании (тектоническом, палеотектоническом, палеогеографическом, металлогеническом, сейсмологическом и т. п.).

Опыт проведенных работ позволяет уточнить представления об условиях и возможностях геолого-структурного дешифрирования по целому ряду важных моментов.

Прежде всего следует подчеркнуть, что все преимущества и возможности отдельных приемов и методик обработки КС (включая и такие эффективные, как использование полных серий КС и обработка по комплексу программ на ЭВМ) в полной мере могут быть реализованы только при их совместном, комплексном применении. Результаты применения сокращенных по сравнению с описанной выше комплексной методикой вариантов дешифрирования следует расценивать только как предварительные и неполные. (В количественном выражении неполнота может достигать многих десятков процентов.) Разумеется, в ряде геологических исследований, где космогеологический метод играет роль вспомогательного, даже и такие отдельные предварительные результаты его применения могут представлять большую ценность, открывая геологам новые структурные элементы и новые структурные связи в известных геологических объектах.

В условиях Сибири и Дальнего Востока геологическая фотогеничность ландшафтов в связи с изменчивостью их состояний существенно изменяется в течение многолетних циклов, одного года, отдельных сезонов, отдельных месяцев и недель с преобладанием разной погоды и разных состояний почвенно-растительного покрова, а также в течение суток и часов (например, в зависимости от направления и угла солнечного освещения). Более того, геологическая фотогеничность изменяется при этом избирательно, специфично по отношению к геологическим объектам разных типов, видов, разных простираций и т. п. Различается фотогеничность и по отношению к разным зонам спектра, разным масштабам КС, разным методам космосъемки, что обуславливает различия геологической информативности разных видов КС, т. е. избирательность их информативности. Из всего этого следует безусловный вывод: никакие отдельные, даже «самые информативные», снимки любого заданного района никогда не содержат всей геологической информации, какая может быть в принципе извлечена из серии снимков ландшафтного рисунка комплексным методом. Это относится к любым космогеологическим исследованиям, а не только к геолого-структурным.

Серийное использование КС автоматически гарантирует также выявление и отбраковку почти всех природных и технических помех.

Оперативная постановка космогеологических задач и подбор исходных материалов значительно облегчаются использованием серийных космодотек по конкретным районам исследований в каждой лаборатории, где систематически применяется дешифрирование КС.

Специальные приемы электронной обработки КС существенно повышают полноту извлечения геологической информации. Они расширяют диапазоны видения трудноразличимых деталей, увеличивают многомерность информации. Широкие возможности комбинирования различных модулей из пакета программ для преобразований КС на ЭВМ, в том числе и при работе дешифровщика в диалоговом режиме с ЭВМ, имеют для геологов особое методологическое значение. А именно, вскрытие невидимых глазу структурных элементов в рисунке снимка наглядно показывает геологу многомерность, многослойность и масштабную разноранговость космической информации. Это формирует новое представление о ее многоаспектности и убеждает в том, что традиционные для геологии визуальные оценки объекта наблюдения принципиально неполны.

Требует применения ЭВМ также программирование задач количественного контроля помех и погрешностей дешифрирования, систематических оценок воспроизводимости промежуточных и конечных результатов и полноты извлечения геологической информации. Переход к широкому использованию разноаспектных серий КС, увеличивающий полноту де-

шифрования на десятки процентов, тоже подразумевает применение ЭВМ. С последним аспектом связан еще один резерв увеличения полноты дешифрования (ориентировочно на 10—30%), который особенно актуален для условий Сибири. Это — полный охват всего диапазона градаций оптических яркостей ландшафта, передаваемых со спутника в модулированном виде по каналу связи. Сопоставление фотоматериалов, полученных при недостаточной, нормальной и избыточной экспозиции, показало нам, что диапазоны фотоплотности не только фотобумаг, но даже исходных негативных пленок далеко не охватывают всех градаций яркости. Особенно это касается высокоинформативных для Сибири контрастных зимних КС. Поэтому только непосредственный прием информации со спутника через комплекс ЭВМ с записи на магнитные носители позволяет использовать диапазоны оптических яркостей целиком и со всеми градациями, которые может регистрировать спутниковая аппаратура.

На неисчерпанные еще возможности структурного дешифрования КС указывают интересные закономерности, которые выявлены в ряде районов при сопоставлении космоструктурных схем с картами геофизических полей и картами глубинных разломов, составленными по данным различных геофизических методов. Наложение схем дешифрования на карты региональных магнитных аномалий обычно показывает совпадение не менее 20—30% (до 70%) линейных элементов, при случайной сходимости 2—5%. На юге Восточного Саяна и в других районах дешифрованные элементы позволили интерполировать и экстраполировать многие разломы, установленные по магнитным данным, детализировать их внутреннее строение и узлы сочленений, полнее увязать зоны глубинных разломов с геологическими картами. В складчатых областях дешифрованием часто подтверждаются поперечные, в том числе слепые, глубинные разломы метаморфического фундамента, выделяемые по магнитным данным. Так, на востоке Горного Алтая ранее был выделен Кабак-Тайгинский скрытый глубинный разлом поперечного северо-восточного простирания в виде фрагментарной на поверхности зоны, включающей отдельные разрывные, складчатые и магмагенные структурные элементы, а также прерывистую цепочку магнитных аномалий. Слабее всего он проявлен на пересечении с Курайской зоной смятия и гранитизации. Однако на КС летнего аспекта этот разлом дешифрируется как непрерывная, четкая (хотя и малокоонтрастная) полоса сложных аномалий ландшафта, пересекающая Курайскую зону и уходящая далеко на северо-восток.

В Сихота-Алинском вулканическом поясе поперечная граница двух типов регионального магнитного поля в целом совпадает с важной петрохимической и металлогенической границей, разделяющей пояс на две части (на севере — основной, на юге — кислый по составу вулканизма). По данным геологического картирования, никаких признаков поперечных разломов там нет. Однако серийное дешифрование КС выявило кулисную зону разрывов, частично совпадающих с поперечными магнитными аномалиями, также расположенными кулисообразно.

Роль комплексного структурного дешифрования КС, как незаменимого источника региональной структурной информации, существенно дополняющего все другие геолого-геофизические данные, гораздо яснее выявилась в районах древней и молодой платформ. На юго-восточной окраине Тунгусской синеклизы и на севере Иркутского амфитеатра карты глубинных разломов, составленные по данным сейсмических, магнитных, гравитационных и электрометрических методов, имеют геометрическую сходимость между собой около 20—40%, но элементы схемы дешифрования показали сходимость 70% с совокупностью всех геофизических разломов (при уровне случайной сходимости 2—3%). Аналогично на Западно-Сибирской плите совмещение магнитной, гравитационной, сейсмической и комплексной геолого-геофизической карт фундамента дало в сумме 30—40% взаимной сходимости элементов, а совмещение тех же карт со схемой серийного дешифрования КС дало суммарную сходимость 60—70% при случайной сходимости 5—10%.

Таким образом, намечается общая закономерность: в отношении разрывных структур региональных рангов полнота космоструктурных карт достоверно превышает полноту других геолого-геофизических карт тех же районов; соответственно космоструктурный метод картирования в 1,5—2 раза информативнее, чем другие отдельные геологические и геофизические методы картирования (особенно на платформах). Поэтому космоструктурные карты послужили своеобразным эталоном, сравнение с которым позволило радикально обобщить принципы комплексирования методов: 1) ни один отдельный геологический или геофизический метод регионального картирования, даже в самых благоприятных условиях, не дает всей информации, которая не могла бы быть дополнена другими методами; 2) любой из методов регионального картирования дает свою уникальную долю оригинальной информации, которую не могут дать другие методы.

Вклад оригинальной информации, который обеспечивает космоструктурный метод, весьма значителен — первые десятки процентов, а общая сумма информации оригинальной и неоригинальной (т. е. подтверждающейся другими методами) достигает многих десятков процентов. Такова полнота результатов комплексного дешифрирования КС.

Полнота космоструктурных схем позволяет гораздо успешнее, чем по результатам других геолого-геофизических методов, проводить морфологический анализ региональных структурных рисунков и выявлять закономерные парагенезисы региональных структур.

Так, сводная схема комплексного дешифрирования КС хорошо изученного Саяно-Байкальского региона впервые позволила в широком плане (на площади 800×1000 км) проследить структурные парагенетические ассоциации систем разломов, симметрия которых указывает на связь с полями сдвиговых деформаций. Одновременно обособилась Байкало-Хубсугульская дизъюнктивная система со своим специфичным структурным парагенезисом поперечных разломов, грабенов и горстов. Ни одна из предшествующих тектонических схем не давала такой подробной и связанной картины структурных рисунков этого региона.

В районе юго-восточной окраины Тунгусской синеклизы комплексное дешифрирование дало сложную сетку региональных разломов и многочисленных кольцевых структур с диаметром в среднем 50 км. Центры некоторых кольцевых структур совпадают с узлами пересечения разломов разных систем, и других закономерностей визуально не наблюдалось. Однако когда кольцевые структуры и разломы разных систем были разнесены по разным схемам, то неожиданно выявилась интереснейшая связь: кольцевые структуры образуют цепочные скопления размером 100×600 км, и эти цепочки четко приурочены к главным разломам западо-северо-западного простирания. В этом случае структурный парагенезис имеет вулканотектоническую природу, будучи связанным с трапшовыми комплексами. Его выявление заставило пересмотреть цели исследований и представления о структуре всего региона, где по детальным исследованиям красноярских геологов многочисленны проявления эндогенной минерализации связаны с узлами пересечений кольцевых структур с разломами. Заметим, что в специфичных условиях Тунгусской синеклизы никакой другой метод структурной съемки, кроме космического, не мог бы дать подобных результатов, тем более сразу по большому региону.

В районе Непского нефтегазоносного свода каждая из трех дешифрированных нами систем глубинных разломов обладает своим неповторимым рисунком оперяющих разломов более низкого ранга — различны углы сочленений, характер и формы ветвления, густота оперения и т. п. Это типичные структурные парагенезисы, отразившие разные условия динамики деформаций фундамента. Все другие геологические и геофизические методы не дают в этом районе такой детализации сети разрывов разного ранга и не позволяют выявлять парагенезисы блоковых структур фундамента. Другое дело — поверхностные дислокации в платформенном чехле. Известная Непская система разломов и линейных соляных складов в

форме «конского хвоста» прекрасно картируется геологической съемкой и геофизическими методами. Однако же и по КС среднего разрешения комплексное дешифрирование выявило 90—95% ранее известных элементов этой парагенетической системы.

Сопоставления космоструктурных схем с геологическими, геохимическими, петрографическими и формационными данными позволяют устанавливать также и структурно-вещественные парагенезисы разного ранга, типа структурно-формационных зон и подзон, отдельных формаций и более мелких структурно-вещественных парагенетических ассоциаций.

В Сихотэ-Алинском вулканическом поясе первоначальной задачей комплексного дешифрирования мы ставили выяснение внутренней структуры пояса и прежде всего распределения вулканических и вулканоплутонических кольцевых структур, их соотношений с региональными разломами. Действительно, десятки таких структур были дешифрированы, частично подтверждены геолого-геофизическими данными и полевыми работами. Однако еще на промежуточных стадиях работы было подмечено, что в сложном мозаичном рисунке разноранговых блоковых структур пояса повсеместно выделяются повторяющиеся блоки размером по 75—100 км прямоугольной и трапецевидной формы. На отдельных КС малого разрешения такие блоки различаются фототонном, создавая рисунок типа крупных шахматных клеток. Это наметило совсем новый аспект структуры вулканического пояса (тем более, что кольцевые структуры при рассмотрении с новой точки зрения обнаруживают тенденцию группироваться в некоторых из блоков). Сопоставление схемы дешифрирования с геологическими и формационными картами, стратиграфическими, петрохимическими данными и полевыми наблюдениями показало, что эти блоки различаются по возрасту, составу и строению залегающих там вулканогенных формаций, так что в каждом блоке имеется свой формационный ряд. Таким образом, впервые выделенные нами блоки играют в вулканическом поясе роль структурно-формационных подзон. Это дает новую основу и для направления поисков гидротермальных месторождений вдоль всего простирания пояса, к северу от известного Тетюхинско-Кавалеровского рудного района. Роль комплексного дешифрирования заключается здесь в том, что природные условия Сихотэ-Алиня крайне неблагоприятны для большинства современных видов картирования и наметить в вулканических комплексах структурно-формационную зональность другими методами сейчас вряд ли бы нам удалось.

Структурно-вещественные парагенезисы совсем иного типа и рангов были установлены комплексным дешифрированием магмоконтролирующих структур на юге Восточного Саяна. Там выявились две частично перекрывающиеся крупные кольцевые системы диаметром около 120 км — Билинская и Шишхидская, которые интерпретируются как докембрийские метаморфические массивы овальной формы. К узлам пересечений элементов этих систем с глубинными разломами тяготеют различные сложные интрузивные комплексы базит-ультрабазитового, габбро-диоритового и субщелочного состава. Часть комплексов сопровождается своими собственными кольцевыми структурами размером 10—25 км. При дешифрировании КФС и АФС было подмечено, что приуроченные к комплексам разного формационного типа кольцевые структуры, имея близкие размеры и не различаясь на КС среднего разрешения, в действительности обладают совершенно разным типом внутреннего рисунка. С базит-ультрабазитовым комплексом связаны эллиптические системы многочисленных тонких концентрических полос; с габбро-диоритовым — грубые незамкнутые, частично пересекающиеся дуги, охватывающие участок с мелкоблоковой «комковатой» отдельностью; с поздними субщелочными гранитами — тонкие немногочисленные дуги круговой отдельности, местами и с радиальными трещинами. Все это поставило перед нами совершенно новую задачу дешифрирования: с учетом глубин эрозийных срезов проверить данную закономерность в соседних районах Алтае-Саянской и Байкальской областей, чтобы затем использовать для формационного расчле-

нения интрузивных комплексов по морфологии кольцевых структур. Последние данные по Горному Алтаю подтверждают морфологическое разнообразие кольцевых структур, приуроченных к интрузивным комплексам разного возраста, состава и структурного положения.

В пределах Непского нефтегазоносного свода примером структурно-вещественных ассоциаций являются крупные кольцевые системы размером первые сотни километров, совпадающие с участками мозаичного и субконцентрического расположения аномальных магнитных масс в архейском фундаменте и с приуроченными к ним куполовидными поднятиями в чехле. Эти поднятия потенциально нефтеносны, что позволяет использовать результаты комплексного дешифрирования для направления поисковых работ.

С точки зрения геологического истолкования результатов дешифрирования КС и их использования в практике прогнозов и поисков, особое значение имеет исследование структур одного района на разных масштабных уровнях. В настоящее время мы можем сказать, что материалы дистанционных съемок по Сибири и Дальнему Востоку обеспечивают полный ряд разномасштабных изображений Земли от детального уровня до трансконтинентального и глобального (и притом — в полных сериях разных ландшафтных аспектов). Современный технический уровень съемок и реальные разрешения КС обеспечивают широкий масштабный диапазон структур, отображаемых каждым КС. Это дает значительное перекрытие рангов тех структур, которые дешифрируются на КС разного масштаба. Например, на КС среднего разрешения системы «Метеор» отображаются: 1) зоны трансрегиональных глубинных разломов (типа Байкало-Таймырского или Омско-Пурского) длиной в тысячи километров, шириной 20—100 км; 2) региональные глубинные разломы длиной в сотни километров, шириной 1—10 км; 3) некоторая часть локальных разломов разного ранга длиной в десятки километров — первые километры, шириной сотни метров. Между тем структуры локальных рангов полнее и детальнее всего отображаются на КФС и АФС, и, следовательно, здесь мы имеем тройное перекрытие масштабных диапазонов.

Наиболее последовательно и полно использовались разные масштабные уровни, и самые интересные результаты были у нас недавно получены при комплексном дешифрировании рудоконтролирующих структур в Лениногорском районе Рудного Алтая. Первоначальной целью дешифрирования было детализировать строение и взаимоотношения известных в районе зон смятия и разломов разного простираения и разного ранга, выявить возможные новые разломы и кольцевые структуры, которые могут оказывать влияние на размещение месторождений, а также выяснить по детальным аэро- и космофотоматериалам закономерные связи локальных структур рудных полей и месторождений с региональными структурами для уточнения структурно-металлогенических прогнозов.

При дешифрировании на масштабном уровне КС среднего разрешения неожиданно выявилась неизвестная до сих пор система узких (0,5—1 км), но протяженных на сотни километров прерывистых линеаментов субмеридионального простираения. Оказалось, большинство известных в Лениногорском районе проявлений оруденения приурочено не просто к известным разломам широтного и северо-западного простираений, но к узлам их пересечения именно с меридиональными линеаментами. Эта закономерность заставила переформулировать цели исследования и направить внимание на структуры сопряжения меридиональных разломов с другими рудоконтролирующими разломами, а также пересмотреть весь комплекс геолого-геофизических данных по району с точки зрения роли меридиональных структур в его строении. Дешифрирование полной разномасштабной серии аэрокосмофотоматериалов и геологическая интерпретация с привлечением детальных данных по структурам, магматизму и фациальной зональности в пределах рудных узлов, рудных полей, месторождений и рудопроявлений дали следующую картину. Разломы разных систем образуют в районе сложный многограновый структурный рисунок.

В качестве элементарных структурных ячеек на разных масштабных уровнях выделяются следующие.

1. Блоки ранга структурно-формационных зон, подзон и рудных районов размером $(200 \times 50 \text{ км})$ — $(75 \times 25 \text{ км})$; ограничены плавно сопрягающимися и изгибающимися зонами глубинных разломов длиной 600—100 км, северо-западного и широтного простирания. Дешифрируются на КС малого и среднего разрешения.

2. Блоки ранга рудных узлов с преобладающими размерами $15 \times 10 \text{ км}$; образуются пересечениями прерывистых систем меридиональных разломов с зонами северо-восточных, северо-западных и (или) широтных разломов и зон смятия. Преобладающая длина разломов 100—25 км. Глубинность этих структур соизмерима с мощностью герцинского и каледонского структурных ярусов земной коры. Дешифрируются на КС всех масштабов и частично на мелкомасштабных АФС.

3. Блоки ранга рудных полей с преобладанием размеров $5 \times 2 \text{ км}$; образованы пересечениями преимущественно широтных и северо-западных разломов длиной 25—10 км. Меридиональные нарушения проявляются чаще не в виде разломов, а в конседиментационных структурах и локальной фациальной зональности интрузивных, вулканогенных и гидротермальных образований. Глубинность разломов соизмерима с мощностью отдельных формаций и структурных подъярусов герцинского комплекса. Дешифрируются на АФС мелкого и среднего масштаба, на КС крупного разрешения и частично среднего.

4. Блоки ранга площадей отдельных месторождений с преобладающим размером $1,5 \times 0,5 \text{ км}$; образованы пересечениями систем локальных разломов и зон смятия, кливажа и т. п., в разных сочетаниях на разных площадях. Преобладающая длина разломов 10—2 км. Глубинность их отвечает мощностям отдельных свит, подсвит и т. п. Дешифрируются частично на КФС крупного разрешения и полностью на АФС всех масштабов.

5. Блоки низших рангов размером $0,5 \times 0,1 \text{ км}$ и мельче, соизмеримые с отдельными рудными телами и их частями. Связаны с локальными разрывными структурами отдельных вулканогенно-осадочных и интрузивных тел, с оперением более крупных разломов. Картируются по АФС крупного и среднего масштаба, а также наземными и подземными полевыми наблюдениями.

Комплексное дешифрирование в Лениногорском районе позволило составить разномасштабную серию структурно-металлогенических схем и на ее основе перейти к выяснению закономерных пространственных связей между рудоконтролирующими структурами разных рангов с целью обоснования прогнозов новых рудных узлов и полей.

Успешное дешифрирование рудоносных структур разных рангов в Рудном Алтае и Тунгусской синеклизе, сопоставление наших результатов по Сихотэ-Алиню с существующим обширным опытом применения КС в среднемасштабных металлогенических и тектономагматических исследованиях Приморья и других районов СССР, МНР и т. п., опыт выявления разноранговых магмоконтролирующих структур в Восточном Саяне и др. — все это указывает на принципиальную возможность разработки таких точных методов прогноза рудоносных структур, которые можно было бы назвать многоуровневыми или полимасштабными. Эти методы должны использовать полное описание структурных решеток всех рангов в заданном районе и давать параллельное выделение (предсказание) следующих структурных ячеек по всему району: металлогенических поясов, зон и подзон; в каждом поясе и зоне — рудных районов и рудоносных узлов; в каждом узле — рудных полей; в каждом рудном поле — наиболее вероятных структур, локализирующих месторождения; наконец, прогноз структур, локализирующих отдельные рудные тела. Ясно, что полимасштабный прогноз потребует использования большого комплекса геологических, геохимических, геофизических данных, особенно по вопросам о возрасте деформаций, о роли складчатых структур, литологического контроля, петрохимической и геохимической специализации формацион-

ных комплексов, вертикальной зональности оруденения и глубинности эрозионных срезов. Но главным условием реализации самой идеи таких прогнозов является применение комплексного дешифрирования полимасштабных материалов дистанционных съемок Земли. Только этот метод обеспечивает построение в каждом масштабе структурных карт, однородных и сопоставимых по детальности во всех своих частях.

Аналогичны принципиальные возможности разработки полимасштабных прогнозов и для нефтегазоносных областей.

Наш последний вывод касается тех психологических факторов методики дешифрирования, которые обычно не осознаются, но реально действуют и влияют на геологическую эффективность результатов. В ходе дешифрирования процесс исследования развивается не линейно последовательно, не строго стадия за стадией. В мышлении дешифровщика моменты визуальных восприятий и оценок сменяются логическим анализом и конструктивными построениями, затем — снова восприятиями и формированием образных пространственных представлений разной степени общности, опережающих логические выводы, и т. д. С образными геологическими представлениями в дешифрировании связан один очень важный эффект КС — их эвристичность, но не в плане открытия новых фактов, а в плане генерации новых идей (что гораздо важнее).

Анализ собственного опыта дал нам убедительные примеры именно идейных открытий, стимулированных восприятиями КС и схем дешифрирования. При визуальной адаптации дешифровщика к снимкам, после периода начального знакомства и работы с ними, он начинает «вживаться» в ландшафтный рисунок. Возникают противоречия и дискуссии, тем более, что индивидуальные образные представления разных дешифровщиков не вполне совпадают. Все это расшатывает стереотипы, будит мысль и ведет к синтезу новых точек зрения, к неожиданным рабочим гипотезам, которые не укладываются в задуманную программу исследования.

Методически важно, что этот идейный — целевой эффект появляется с первых же стадий дешифрирования, задолго до получения окончательных геологических результатов. Поэтому возникающие по ходу работы новые образные идеи и гипотезы не только опережают те выводы, которые предполагалось получить, но заставляют пересматривать цели работы, а иногда радикально переформулировать всю задачу дешифрирования. Ретроспективно анализируя свои работы, мы можем теперь сказать, что так происходило в каждом без исключений районе, где проводилось дешифрирование. Наши первоначальные идеи и структурные представления всегда в чем-то существенно изменялись и корректировались по мере накопления и образного обобщения зрительных восприятий района в разных его аспектах. В этой увлекательной идейной новизне, побуждающей к творческому поиску, — главная притягательность космогеологического метода.

Наглядным примером важного для нас идейного открытия, сделанного благодаря восприятию КС, явилась неожиданная тектонофизическая трактовка спирально-шлейфовой структуры на сопряжении двух региональных блоков Центральной Камчатки. Традиционные подходы вели к представлению о пластическом вращении масс двух блоков на 180° и более вокруг одной точки в районе диаметром 250 км. В ходе дискуссии пересмотр КС показал противоречивость такого представления и натолкнул на следующую новую идею: дуговые и спиральные системы разрывов могут возникать в упругой среде как отражение криволинейных полей напряжений, без каких-либо перемещений масс в пространстве. Новую закономерность удалось доказать теоретически и экспериментально. Она имеет общетектоническое значение.

ОПЫТ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ, ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ КРАЕВЫХ ДЕПРЕССИЙ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

В последнее время для выделения разрывных нарушений широко используются материалы космических съемок. С накоплением космической информации и ее широким использованием в геологических целях было установлено, что не все выделенные по результатам дешифрирования космоснимков линеаменты имеют тектоническую природу. Выяснилось также, что процесс выделения линеаментов, несмотря на общепринятую методику, довольно субъективен. Сопоставление схем предполагаемых разрывных нарушений, составленных по космическим материалам (линейных элементов — линеаментов) различными авторами на территорию Енисей-Хатангского прогиба, показывает, что количество и плановое положение выделяемых линеаментов на этих схемах существенно различаются.

В качестве сопоставляемых использовались схемы линеаментов, трактуемых как разрывные нарушения, построенные в разные годы в различных научных и производственных организациях. Исходные схемы были приведены к одному масштабу (1 : 2 500 000). Отбирались схемы, близкие по времени составления и качеству космических материалов. Учитывались все линейные элементы (ЛЭ) протяженностью не менее 50 км. Совпадающими считались элементы, оказавшиеся в полосе шириной 10—15 км при разнице простираний не более 10°. Таким путем снимались расхождения исходных картографических основ.

Результаты сравнения схем линейных элементов приведены в табл. 1 (схемы различных коллективов в ней закодированы под номерами 1—4).

Приведенные в таблице данные показывают, что для одной и той же территории линейные элементы по данным космических съемок (КС) разными исследователями выделяются в различных количествах и качествах. Причиной большого различия схем можно считать субъективные факторы и качественные различия КС.

Субъективные факторы имеют место на этапе обработки КС и выделения линейных элементов. При специальном рассмотрении этого вопроса (в условиях южных районов Западно-Сибирской плиты и восточных районов Сибирской платформы) устанавливается, что в идентичных условиях (на одном и том же рабочем месте, при одной освещенности и одних и тех же КС) разные специалисты выделяют различное количество ЛЭ. Основными причинами этого следует считать неодинаковую подготовку исследователей к работе с КС данного класса и масштаба, недостаточное знание геологических особенностей изучаемого района, а также некоторые индивидуальные качества исполнителей (зрительное восприятие, способность принимать решения в неопределенной ситуации и т. д.). Суммарный эффект перечисленных факторов приводит к тому, что величина совпадающих

Таблица 1

Объект сопоставления	Кол-во ЛЭ	Величина совпадения ЛЭ							
		Схема 1		Схема 2		Схема 3		Схема 4	
		кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%
Схема 1	80	—	—	26	32	22	28	18	22
Схема 2	90	26	31	—	—	18	20	12	13
Схема 3	60	22	33	18	30	—	—	5	9
Схема 4	75	18	29	12	13	5	7	—	—

линейных элементов колеблется в значительных пределах. Так, в условиях закрытой территории Среднего Приобья Западно-Сибирской плиты совпадения по данным двух исполнителей изменялись от 16 до 47%. В этом случае исполнители были высокого класса, хорошо знали геологию района и имели большой опыт работ в данном регионе.

Сравнение результатов дешифрирования среднemasштабных КС по Среднеботуобинскому району Якутской АССР показало, что чуть более 10% линеаментов было выделено независимо тремя исполнителями, а двумя из них — около трети общего числа. Подобный анализ сходимости результатов дешифрирования был выполнен в США [Подвысоцкий и др., 1979]. При этом четыре американских специалиста независимо друг от друга проанализировали изображение, полученное мультиспектральным сканирующим устройством в четырех спектральных диапазонах. Результаты сопоставления показали по данным четырех исполнителей совпадения 0,4%, а по данным двоих из них — 22,9%.

Из сказанного следует, что несоответствия выделения линеаментов на различных схемах (см. табл. 1) в значительной степени обусловлены субъективным фактором и в меньшей мере (2—6%) качеством КС и погрешностями топооснов.

Выделение региональных разрывных нарушений в пределах краевых депрессий Сибирской платформы осуществлялось на основе комплексного анализа геофизического (гравитационных, магнитных, сейсмических полей) материала, данных по ландшафтным признакам и дешифрирования КС. Интерпретация геофизических и ландшафтных данных осуществлялась по принятой для районов Сибири методики [Дизъюнктивная тектоника..., 1970]. Выделение ЛЭ по морфологии рельефа производилось дополнительно с использованием геометрического анализа топографической поверхности [Михеев, 1983]. В более редких случаях (преимущественно в пограничных районах краевых депрессий Сибирской платформы со складчатым обрамлением) привлекались материалы геологических съемок. Выделенные таким образом ЛЭ и разрывы сопоставлялись с ЛЭ, установленными по космическим материалам (табл. 2).

В целом по краевым депрессиям процентное соотношение ЛЭ, выделяемых по КС, с ЛЭ по другим данным заметно различается по отдельным регионам. Несмотря на некоторые из этих различий, намечается общая тенденция — уменьшение совпадающих линейных элементов по КС в ряду структур от Енисей-Хатангской до Вилюйской. Основной причиной рассматриваемой тенденции являются тектонические особенности сравниваемых регионов. Главные палеоструктурные характеристики этих структур приведены в табл. 3.

Сравнение данных табл. 2 и 3 показывает, что величина сопоставимости ЛЭ, выделяемых по КС и по другим данным, в значительной мере связана с особенностями неотектонических движений. Степень сопоставимости их тем выше, чем больше амплитуда, а главное — контрастность нисходящих и восходящих движений. В соответствии с этим Енисей-Хатангский региональный прогиб характеризуется наибольшим (29%) со-

Таблица 2

Линейные элементы	Сходимость по регионам									
	Енисей-Хатангский прогиб		Лено-Анабарский мегапрогиб		Предверхоярский прогиб		Вилюйская гемисинеклиза		По всем структурам	
	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%
Ландшафтные	43	29	8	22	21	21	11	14	83	23
Гравимагнитные	54	37	10	17	12	12	3	4	74	20
Не совпадающие по КС	76	52	22	61	73	73	67	83	238	66

Таблица 3

Палеоструктурная характеристика	Енисей-Хатангский региональный прогиб	Лено-Анабарский мегапрогиб	Предверхоанский краевой прогиб	Вилуйская гемисинеклиза
Время заложения	Ранняя юра	Поздний палеозой (?)	Поздняя юра — ранний мел	Поздний палеозой
Основные этапы регионального развития (погружения)	Юра — мел	Триас — мел	Мел	Пермь — ранний мел
Основные этапы структурообразования (I—III порядка)	Триас (?) — кайнозой	Юра — мел	Мел (?)	Ранний мел
Типы, амплитуды неотектонических движений	Инверсионные поднятия 50—500 м	Погружение 50—250 м и поднятия до 200 м	Погружения 100—300 м и поднятия до 100 м	Погружения 100—150 м
Мощность осадочного чехла, км	8—10	2—4	4—6	6—8

ответствием ЛЭ, устанавливаемых по ландшафтными и космическим данным. Для Вилуйской гемисинеклизы показательны относительно малые амплитуды неотектонических движений (см. табл. 3). Возможно, с этим следует связывать наиболее низкую степень сопоставимости ЛЭ, выделяемых по ландшафтными данным и КС.

Степень соответствия ЛЭ, выделяемых при КС и по гравимагнитным данным, также может быть поставлена в связь с особенностями тектонического развития рассматриваемых регионов. Наибольшее соответствие их (37%) отмечается для Енисей-Хатангского регионального прогиба, характеризующегося конседиментационным (включая кайнозой) развитием пликтивных структур I—III порядка. Для восточных районов краевых депрессий показательны значительные несоответствия ранне-среднепалеозойских и позднепалеозойско-мезозойских структурных планов. Это обусловило отсутствие заметных связей гравимагнитных данных со структурами верхних частей осадочного чехла и, как следствие этого, низкую сопоставимость с ЛЭ по КС.

С увеличением мощности осадочного чехла при прочих равных условиях уменьшается сходимость ЛЭ, что можно видеть (см. табл. 2, 3) при сравнении Лено-Анабарского мегапрогиба, Предверхоанского краевого прогиба и Вилуйской гемисинеклизы.

Интересно, что некоторые небольшие по длине ЛЭ по КС в Вилуйской гемисинеклизе совпадают с фрагментами сгущения изолиний и резких их изгибов в строении потенциальных геофизических полей или с цепочками малоамплитудных, вытянутых аномалий, интерпретируемых как остаточные после структурной (в позднем палеозое — мезозое) перестройки. Таким образом, при детальном совместном анализе материалов КС и геофизических данных появляется возможность изучения элементов погребенного структурного плана.

Данные ориентировок ЛЭ, выделенных различными методами, приведены в табл. 4.

Приведенные данные показывают, что соотношение ориентировок ЛЭ по космическим и другим исходным материалам в разных геотектонических регионах различно. Наиболее хорошая сходимость по ориентировкам ЛЭ устанавливается для Енисей-Хатангского регионального прогиба. Здесь процентное распределение количества ЛЭ, выделенных по различ-

Таблица 4

Простираание, град	Енисей-Хатангский региональный прогиб		Лено-Анабарский мегапрогиб		Предверхоанский краевой прогиб		Виллюйская гемисинеклиза		Всего	
	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%
<i>Космические ЛЭ</i>										
270—290	0	0	3	8	10	10	6	8	19	5
291—310	15	10	8	22	4	4	12	16	40	11
311—330	13	9	4	11	14	14	17	21	48	13
331—350	19	13	2	6	25	25	8	10	54	15
351—10	14	9	6	17	12	12	6	7	38	10
11—30	9	6	3	8	9	9	1	1	22	6
31—50	27	19	5	14	7	7	18	22	57	16
51—70	28	19	1	3	10	10	4	5	43	12
71—90	20	14	2	6	9	9	8	10	39	11
<i>Ландшафтные ЛЭ</i>										
270—290	0	0	2	12	4	8	6	19	12	8
291—310	5	10	7	41	4	8	4	13	20	14
311—330	6	12	4	24	9	18	3	10	22	15
331—350	6	12	0	0	10	20	2	6	18	12
351—10	4	8	0	0	8	16	5	16	17	12
11—30	2	4	2	12	1	2	3	10	8	5
31—50	13	25	2	12	11	23	4	13	30	20
51—70	7	13	0	0	2	4	4	13	13	9
71—90	9	17	0	0	0	0	5	14	14	9
<i>Гравимагнитные ЛЭ</i>										
270—290	0	0	4	11	1	2	3	5	8	4
291—310	11	12	13	37	5	10	5	8	35	15
311—330	11	12	0	0	21	43	16	25	48	21
331—350	6	7	4	11	11	23	0	0	20	9
351—10	9	10	0	0	3	7	13	21	25	11
11—30	9	10	3	9	2	4	3	5	17	7
31—50	22	24	5	14	3	7	15	24	45	20
51—70	14	16	5	14	2	4	7	11	16	7
71—90	12	13	1	3	0	0	1	2	14	6

ным материалам, по всем направлениям практически идентично. При этом достаточно хорошо просматривается тенденция в распределении ЛЭ не только по простиранию, но в ряде случаев по отдельным направлениям и численно совпадают процентные распределения ЛЭ (например, интервалы простираний 270—290; 31—90° и др.).

В восточных районах краевых депрессий соотношение простираний ЛЭ иное. Сравнительно близкий характер сходимости ЛЭ по различным материалам отмечается для Лено-Анабарского мегапрогиба и Предверхоанского краевого прогиба. Процентное распределение количества ЛЭ по направлениям здесь относительно однообразно при максимуме в интервале 290—310° в районах мегапрогиба и 331—350° в краевом прогибе. В предверхоанском краевом прогибе более отчетливо выделяются интервалы больших несоответствий простираний ЛЭ по космическим материалам с ЛЭ по гравимагнитным (интервал 311—330°) или по ландшафтными данным (интервал 31—50°).

В Виллюйской гемисинеклизе соотношение простираний ЛЭ сложнее. Максимумы совпадений различных ЛЭ наблюдаются в интервале 31—50°, а соответствующие ориентировки ЛЭ по космическим материалам с ЛЭ по гравимагнитным — в интервале 311—330°, по космическим и ландшафтными — 351—10°.

В целом степень соотношения ориентировок ЛЭ, выделенных различными методами, по Енисей-Хатангскому региональному прогибу значительно выше, чем в восточных районах краевых депрессий, что, как и в

рассмотренных выше случаях соотношения планового положения (см. табл. 2, 3), достаточно хорошо объясняется тектонической историей различных регионов краевых депрессий.

ЛИТЕРАТУРА

- Дизъюнктивная тектоника Западно-Сибирской плиты/Гурари Ф. Г., Микуленко К. И., Старосельцев В. С. и др.— Новосибирск: изд. СНИИГГиМС, 1970.— 92 с.
- Михеев В. А. Опыт тектонофизических исследований в западных районах Сибирской платформы.— В кн.: Тектоника нефтегазоносных отложений Сибирской платформы. Новосибирск: изд. СНИИГГиМС, 1983, с. 141—148.
- Подвысоцкий М. Х., Мойк Дж., Шоуп У. К. Количественная оценка линейментов при ручной и машинной методике обработки.— В кн.: Космическая геология. Л.: Недра, 1979, с. 323—329.

Н. Л. САПРОНОВ, В. М. СОБОЛЕНКО

ОПЫТ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОВУЛКАНОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ ЮЖНО-ТУНГУССКОЙ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

На территории междуречья Ангары, Чадобца, Подкаменной Тунгуски и Чуни проявлены мезозойский ультраосновной щелочной магматизм и позднепалеозойско-раннемезозойский эксплозивный вулканизм и, как следствие, широко развиты инъективные дислокации, расшифровка которых имеет первостепенное значение для понимания былых процессов и поисков связанных с ними полезных ископаемых. Выполнить это стало возможно лишь на основе применения комплекса дистанционных методов исследований.

Структурно-палеовулканологическое среднemasштабное картирование проведено в районе пос. Ванавара на площади 122 тыс. км² и является первым опытом подобного рода работ в этой вулканической области.

Применен комплекс дистанционных методов, включающий геологическое дешифрирование аэрофотоснимков, мелко- и среднemasштабных космофотоснимков и телесканерных материалов, интерпретацию геофизических данных и анализ на основе дешифрирования фактического материала, полученного ранее другими геологами. Для проверки результатов дешифрирования и интерпретации геофизических данных и сбора материала по вещественному составу тел и толщ выполнены наземные исследования. Главными объектами картирования были синвулканические интрузии и тектоника, покровная вулканогенная серия, гидротермально-метасоматические образования. Это позволило в короткий срок охватить исследованиями большую территорию и получить равномерно распределенный однообразно объективный исходный материал. В результате установлены новые данные, в первую очередь о магматизме, вносящие важные поправки в существующие представления о геологии этой вулканической области.

Ультраосновной щелочной магматизм установлен на 11 локальных участках площадью от 10 до 60—70, редко до 100—200 км². В наиболее полном объеме он проявлен на Чадобецком куполе, где известны пикритовые порфириды, слюдястые пироксениты, перидотиты, нефелинсодержащие породы, альнэиты, кальцитовые и доломитовые карбонатиты. Эта структура в целом — классический магматический диапир. Двумя штоками кальцитовых карбонатитов вмещающие породы деформированы в

виде двуглавого купола. Остальные породы образуют вокруг них ареал мелких даек, штоков и жил. Судя по гравитационной аномалии, они являются вершиной магматической колонны, развитой над крупным интрузивным телом.

На других участках характеризуемой территории проявлены только кальцитовые карбонаты. Они образуют поля малых интрузий. Типоморфные тела — дайки, штоки, кольцевые дайки, пластовые залежи — сложены породами типа сёвитов, альвикитов, редберг, кварц-карбонатными и карбонатно-кварцевыми породами с гематитом и магнетитом. К полям малых интрузий карбонатов тяготеют проявления исландского шпата, магнетита, целестина, барита, полиметаллов, редких земель, марганца и апатита.

Эксплозивный вулканизм на юге Тунгусской синеклизы стал неординарным процессом в геологической истории территории. В эту эпоху слоистая структура чехла платформы была резко нарушена в результате регионального растяжения. Обильно проявились дизъюнктивные дислокации. В верхние горизонты чехла внедрились большие массы магматического расплава. Высвобождавшаяся при этом энергия также оказала влияние на слоистую структуру чехла в виде механических деформаций, контактового метаморфизма и гидротермально-метасоматических преобразований пород. На дневную поверхность был извергнут огромный объем пирокластов. В результате сформировались оригинальные линейные и кольцевые вулканоструктуры и вулканотектонические сооружения. Плотность их на рассматриваемой территории велика.

Корни вулканических палеоструктур дискордантны относительно слоистой структуры чехла, имеют большую вертикальную протяженность, размещены в глубоко проникающих разломах и представляют собой ярусно построенные трещинные магматические колонны. Магмопроводящие разломы имеют протяженность до 100—300 км и делятся на расколы (прямолинейные трещины растяжения без смещения крыльев) и разрывные нарушения сложной кинематики, сочетающие в себе элементы сбросов, взбросов, сдвигов и раздвигов, имеющие в плане извилисто-ломаную конфигурацию. Смещения по ним не только затрагивают, вероятно, весь чехол, но и проявляются в кристаллическом фундаменте.

Для структур центрального типа важную роль играют кольцевые разломы. Диаметр их от первых сотен метров до 40—200 км. В крупных и гигантских кольцевых вулканоструктурах эти разломы, очевидно, пересекают также весь чехол.

В приповерхностной части (верхний километр разреза чехла) вулканоструктуры резко расширены, в их зонах проявлена интенсивная, контрастная вулканотектоника, появляются элементы, согласующиеся со слоистой структурой чехла (силлы, интрузивные залежи, ступенчатые и лестничные интрузии).

Ранее большинство локальных структур характеризуемой территории трактовались как пликативные. Палеовулканологические реконструкции свидетельствуют об их инъективной природе. Их следует рассматривать как вулканогорсты, кальдеры проседания, вулканические грабены, линейные кальдеры, вулканотектонические впадины и компенсационные депрессии. С процессом вулканизма связаны также кольцевая и радиальная трещиноватость, куполообразование, приразломные пликативные и хрупкие дислокации и концентрическая изоклиная складчатость вокруг магматических комплексов центрального типа.

Характерной разновидностью вулканоструктур являются вулканические грабены — отрицательные структуры, ограниченные нормальными сбросами растяжения и выполненные мощными толщами пирокластов. Они имеют многочисленные черты сходства с континентальными рифтами (развитие на внутриконтинентальных сводах, интенсивный вулканизм, сопоставимость по размерам с рядом известных структур и т. д.), но и отличаются от них по некоторым важным характеристикам (масштаб структур, состав продуктов вулканизма, геофизическая выраженность). Про-

странственное размещение этих грабенов позволяет предполагать наличие поднятий платформенного чехла в межрифтовых блоках.

Продукты эксплозивного вулканизма размещены строго закономерно в целом и тесно взаимосвязанно между собой.

Интрузивные породы локализованы в каркасах корневых зон линейных и кольцевых вулканических и субвулканических палеоструктур. Их сообщества по особенностям строения сопоставляются с классическими трещинными сооружениями Исландии и центрально-метасоматическими комплексами Африки, Британо-Арктической провинции и других регионов.

Интрузивные тела, залечившие магмопроводящие линейные, кольцевые и трубообразные каналы, сформированы в результате многократных внедрений расплавов. Они сложены разнообразными по составу, структуре и текстуре долеритами, туфо- и лавобрекчиями. Здесь же часто фиксируются проявления гидротермально-метасоматических процессов и связанных с ними полезных ископаемых. Другие интрузии — одноактные, состав каждого тела однороден.

В строении каждой кольцевой вулканоструктуры диаметром 25—40 км и больше участвуют недифференцированные, слабодифференцированные и дифференцированные интрузии долеритов нормального состава и субщелочные долериты.

В вулканических грабенах и кальдерах проседания обильны дифференцированные интрузии пород нормального состава, характеризующиеся повышенной железистостью. Вокруг них, как правило, имеются мощные зоны апотуфовых роговиков. В кальдерах чаще, чем в других структурах, имеются субщелочные долериты.

Гидротермально-метасоматические изменения пород наиболее обширны в грабенах и кальдерах, здесь же чаще вскрываются проявления полезных ископаемых.

С корнями древних вулканов тесно ассоциирует покровная вулканогенная серия. Материал на ее формирование поставили многочисленные вулканические аппараты, местоположение которых теперь известно. Это позволяет представить площадную структуру вулканогенной серии в виде многочисленных толщ. Каждая из них локализована в определенной структуре или ее части, обладает индивидуальным строением и составом литогенетических типов пород и отражает характер извержений первичного материала, его перемещения, захоронения и особенностей последующей экзогенной переработки.

В однотипных структурах пирокластические толщи близки по характеру, в разнотипных — резко различны. В кальдерах, вулканических грабенах и вдоль магмовыводящих трещин преобладают толщи массивных грубых спекшихся туфов. С кольцевыми вулканоструктурами ассоциируют слоистые пирокластические толщи, в которых можно наметить комплексы фаций, отвечающие условиям околожерловой, промежуточной и удаленной зон. В вулканотектонических депрессиях и во впадинах в зонах ствольных блоков гигантских кольцевых вулканоструктур распространены осадочно-вулканогенные и вулканогенно-осадочные толщи. Максимальные мощности вулканитов законсервированы в вулканических грабенах (>400 м), вулканотектонических депрессиях (600—700 м) и в отдельных впадинах внутри гигантских кольцевых вулканоструктур (>300 м).

Выявление инъективных дислокаций позволяет реконструировать крупные пликвативные структуры, нарушенные и видоизмененные процессами эксплозивного базальтового вулканизма. В нижнем течении р. Чуни по подошве верхне-среднекаменноугольных отложений выделяется Янготойская антиклиналь, в ядре которой расположены блоки, сложенные ордовикскими отложениями, и вулканическая кальдера. В бассейнах Нембы и Подпорожной реставрируется крупная антиклинальная структура, на месте которой ранее показывался ряд разрозненных мелких структур. Выделена Ангаро-Таймурийская депрессия, занимающая пло-

щадь 850 км² в пределах изученной территории и состоящая из Чуньской и Кежемско-Катской впадин, разделенных Катангской погребенной антеклизой.

Исследования свидетельствуют о наличии на изученной площади сети закономерно ориентированных региональных разломов ортогональной и диагональной ориентировки. Крупнейшие из них имеют ширину 15—20 км и протяженность в сотни километров. Они прослеживаются далеко за пределами характеризуемой территории. Остальные группируются в системы, состоящие из субпараллельных разломов, размещенных с шагом в 50—60 км. По структуроконтролирующим признакам дизъюнктивные дислокации разделены на два типа. К первому отнесены разломы, освоены эксплозивным вулканизмом, контролирующие размещение трапповых вулканоструктур и сочленение блоковых и пликативных структур. Они представляют собой зоны сложного блокового строения, имеющие на значительных отрезках своего простирания вид магмопроводящих разломов и линейных вулканоструктур — вулканических цепей, состоящих из палеовулканов центрального типа, соединенных вулканическими трещинами. Во второй тип объединены разломы, контролирующие сочленение пликативных структур чехла платформы. Они отделяют Байкитскую антеклизу от Тунгусской синеклизы, разграничивают пликативные структуры в пределах Байкитской антеклизы и Ангаро-Таймуриной депрессии.

А. А. РАСТЕГИН

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗА ПОГРЕБЕННЫХ ПОДНЯТИЙ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

В первых работах, посвященных интерпретации результатов дешифрирования космических снимков (КС), многие из исследователей придерживались мнения, что кольцевые фотоаномалии (КФА) на поверхности Земли отражают погребенные поднятия. Поэтому только на основании их анализа в юго-западной части Туркмении было выделено 21 предполагаемое поднятие. Причем считалось, что восемь из них дешифрируются наиболее достоверно [Амурский и др., 1978]. Для Нижнего Поволжья при дешифрировании аэрокосмофотоматериалов было выделено 70 КФА. Девять из них по площади совпадали с известными месторождениями нефти и газа в верхнем структурном этаже, а семь — в нижнем. Предполагалось, что в плане 15 КФА сопоставляются с локальными поднятиями в верхнем, 24 — в нижнем, а 15 — к определенному структурному этажу отнести было невозможно [Мокиенко и др., 1979]. В Якутии в междуречье Тунга и Тюнкяна было выделено несколько КФА, совпадающих (по отражающим сейсмическим горизонтам в отложениях перми и пермотриаса) со структурными носами [Полканов, 1981].

Но уже из анализа приводимых в этих работах структурно-тектонических схем с вынесенными на них КФА было видно, что совпадение с ними локальных поднятий и структурных осложнений не закономерно, а, скорее всего, случайно.

В это же время начали публиковаться работы, объясняющие механизм «просвечивания» сквозь толщу консолидированных осадков погребенных структур.

Так, Г. И. Амурский и Н. Н. Соловьев [1982] отмечают, что КФА фиксируют тектонодинамический процесс преобразования земной коры на современном или близком к нему этапе и они чаще всего накладываются на антиклинальные структуры — участки проявления деформаций растяжения, и поэтому КФА над отрицательными структурами следует рассматривать как аномальное явление.

В то же время анализ КФА на юго-востоке Русской платформы и в Прикаспийской впадине отражает противоположную предыдущей картину. Там из 95 КФА с куполовидными поднятиями совпали только три, а чаще всего они отвечали синклиналильным структурам осадочного чехла и фундамента [Зайченко и др., 1981].

Большинство исследователей связывают КФА с глубинными структурами литосферы, являющимися продуктом геологических процессов новейшего этапа Земли.

Развивая это положение, Л. Н. Розанов [1981] приходит к выводу о том, что фототон на КС отображает не просто новейшую структуру земной коры, а динамику новейших тектонических движений и характер их изменения по площади. По экспериментальным данным, под действием тектонических напряжений даже после небольшого сжатия горные породы последовательно проходят упругую, пластическую стадию и стадию разрушения (трещиноватость), что приводит в последующем к увеличению проницаемости пород. Максимальное развитие трещиноватости в пределах новейших поднятий наблюдается в сводах положительных структур, на их периклиналях и крутых крыльях. В этих зонах происходит интенсивная миграция флюидов, усиление теплового потока, что ведет к увеличению плотности фототона на КС на участках поднятий (зона растяжения) и его просветлению над отрицательными структурами.

Не отрицая подобного механизма формирования фототона над новейшими структурами, А. Н. Ласточкин добавляет к гидрогеологическим и геотермическим аномалиям над поднятиями и газобнохимическую. Он отмечает, что подобные аномалии не только позволяют наметить контуры новейшего поднятия, но и прогнозировать его продуктивность. Однако проявление и соответственно обнаружение фотоаномалий, отражающих неотектонически активные и погребенные структурные элементы, фундаментально отличаются друг от друга. Поэтому, как полагает А. Н. Ласточкин, фотоаномалия, отражающая погребенное поднятие, является дирекционной (секущей орогидрографию) и располагается вне связи с современным рельефом, и чем меньше эта связь, тем значительнее ее интенсивность. КФА отражают не глубинные структуры, а контролируемые рельефом компоненты ландшафта. Поэтому до сих пор не определен геологический смысл целого ряда КФА, выделяемых на КС в пределах платформенных областей [Ласточкин, 1982].

Это положение подтверждается и многими исследованиями, проведенными в последние годы.

Например, в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции на космоснимках не проявляются структуры II порядка — валообразные поднятия и грабенообразные прогибы. Отдельные КФА пространственно совпадают с локальными поднятиями различных горизонтов палеозоя, а большинство месторождений нефти и газа расположены внутри КФА. «Но, принимая во внимание количество и размеры как тех, так и других, подобное совпадение нам представляется неизбежным в любом случае» [Савин, 1981]. На данной территории на КС дешифрируются лишь неотектонические структуры, а их совпадение со структурами палеозойских горизонтов наблюдается далеко не всегда и лишь в случае унаследованного развития.

Комплексная интерпретация результатов дешифрирования КС и геолого-геофизических материалов для большей части территории Тунгусской синеклизы показала, что часть КФА связана с вулканотектоническими структурами и лишь некоторые из них совпадали по площади с поднятиями фундамента и осадочного чехла. Отсюда был сделан вывод об определенной связи выделенных на КС округлых аномалий фототона с расположением поднятий платформенного чехла [Пятницкий, 1981].

Однако из анализа приведенной В. К. Пятницким схемы сопоставления кольцевых аномалий с поднятиями чехла видно, что из 54 локальных поднятий, выявленных по данным геологических съемок и сейсморазведки, только 27 совпали в плане с КФА (из 120, отдешифрированных на этой

территории), т. е. с вероятностью 22,5% локальные поднятия находят свое отражение в КФА, да и то случайным образом, так как два из них находились внутри значительных по площади КФА, а 19 (70,4%) локальным поднятиям соответствовали КФА, занимающие от 5 до 50% площади.

Подобного рода анализ проведен нами для Непско-Ботуобинской антеклизы и прилегающих к ней районов. Там по КС локального и детального уровней генерализации было выделено 116 КФА, а геолого-геофизическими работами выявлено 38 локальных поднятий. Из них 18 совпали с кольцевыми фотоаномалиями. В этом случае можно отметить, что с очень низкой вероятностью, равной 16,4%, локальные поднятия случайным образом отражаются в кольцевых фотоаномалиях на КС.

Приведенные примеры убедительно указывают на то, что для территории юга Сибирской платформы, имеющей сложное геологическое строение, несовпадение структурных планов нефтегазоносных горизонтов с вышележащими отложениями, насыщенность разреза трапповыми телами, мощные толщи галогенных образований, прогноз погребенных поднятий по КФА на КС не дает и, скорее всего, не даст положительных результатов.

Однако следует отметить, что из всех проанализированных поднятий II и III порядка юга Сибирской платформы хорошо совпадает по площади с КФА на КС во всех спектральных диапазонах детально изученное геолого-геофизическими работами Чадобецкое куполовидное поднятие. Этот факт прежде всего объясняется тем, что на крыльях поднятия контакт полого залегающих пермотриасовых отложений со сравнительно круто (10° и больше) залегающими кембрийскими породами проходит по кольцевым разломам. Ядро складки, сложенное отложениями рифея, интродуцировано ультраосновной магмой. Все эти элементы строения поднятия хорошо дешифрируются по всем космофотоматериалам, на которых они отображаются в виде вложенных друг в друга кольцевых, более темных, чем окружающий тон, фотоаномалий.

В КФА частично отражаются Верхнечонское и Верхневилучанское куполовидные поднятия. Дуговой и кольцевой рисунок фототона на КС этих поднятий обусловлен аномальным расположением речной сети.

Таким образом, применение контрастно-аналогового и, по нашему мнению, ландшафтно-индикационного методов дешифрирования КС для прогноза глубинных поднятий II и III порядка юга Сибирской платформы за единичными исключениями не дает положительного результата, поэтому для этих целей назрела необходимость разработать статистические методы анализа схем линеаментов, выделяемых при дешифрировании аэрокосмофотоматериалов.

Небольшой опыт подобного рода исследований для территории Сибирской платформы имеется.

В. С. Старосельцев [1981], используя только два показателя, которые характеризовали плотность отдешифрированных по аэрофотоснимкам линеаментов центральной части Тунгусской синеклизы, показал высокую сопоставимость значений их величин с материалами сейсморазведки и возможность прогноза по ним погребенных поднятий.

Однако линеаменты, которые обычно отождествляются с трещинами или разрывными нарушениями, имеют сложное полигенетическое происхождение, что значительно затрудняет выявление закономерностей их развития. Особые трудности при анализе линеаментов возникают при разделении их на региональные (планетарные в понятии С. С. Шульца) и локальные. Неясен характер связи между длиной линеамента и глубиной его заложения. По мнению одних исследователей, она равна длине линеамента, по мнению других — его половине. Не зная этой зависимости, невозможно и ответить на вопрос: какой же структурный план мы пытаемся прогнозировать — в разрезе осадочного чехла, фундамента или земной коры? Существует мнение, что трещины и разрывные нарушения развиваются унаследованно от фундамента. Тогда ответ однозначен. Кроме

структурного плана поверхности фундамента мы ничего иного спрогнозировать не сможем.

Нет приемов для разграничения систем трещин и разрывных нарушений, возникших до, во время и после формирования погребенных структур, что не позволяет провести их фильтрацию, оставив для анализа лишь те системы, которые связаны с формированием структур.

Неясен механизм развития трещиноватости. Эксперименты на моделях показывают, что, например, на поднятии на его своде рост трещин происходит сверху вниз, а на крыльях — снизу вверх. В природе же этот процесс протекает значительно сложнее.

Не выяснен характер связи трещиноватости и разрывных нарушений с глубинными поднятиями. Одни исследователи считают, что при формировании поднятия происходит изменение ориентировки региональной трещиноватости, она как бы огибает поднятие, другие связывают с образованием поднятия возникновение новых систем трещин, зависящих от характера изгиба слоев горных пород и их литологического состава, третьи утверждают, что связь трещиноватости с пликативными дислокациями отсутствует.

Поэтому статистическим методам обработки схем линеаментов с целью прогноза погребенных поднятий уделяется все большее внимание [Кукушкин, Ян, 1983; Растегин, Кучай, 1983].

На наш взгляд, одним из наиболее перспективных методов анализа схем линеаментов для структурно-тектонических построений является анализ тренд-поверхностей, дающий возможность выявлять локальные особенности плотности линеаментов на фоне региональных ее изменений.

ЛИТЕРАТУРА

- Амурский Г. И., Бондарева М. С., Жабров И. П., Пименова Л. В. Первые результаты дешифрирования космических снимков для газовой промышленности (на примере Юго-Западной Туркмении). — Обзор ВНИИЭГазпром. Геология и разведка газовых и газоконденсатных месторождений. — М., 1978. — 52 с.
- Амурский Г. И., Соловьев Н. Н. Кольцевые фотоаномалии — предвестники антиклинальных структур. — Сов. геология, 1982, № 9, с. 36—43.
- Зайченко В. Ю., Кузнецов О. Л., Попсуй-Шапко Г. П. О природе кольцевых фотоаномалий, фиксируемых дистанционными методами. — Сов. геология, 1981, № 1, с. 98—106.
- Кукушкин Д. А., Ян Г. Х. Некоторые вопросы методики анализа линеаментов (по данным дешифрирования космических снимков). — Исследование Земли из космоса, 1983, № 1, с. 51—56.
- Ласточкин А. П. Дешифрирование по космоснимкам платформенных структур, перспективных на нефть и газ. — Сов. геология, 1982, № 12, с. 116—121.
- Мокленко В. Ф., Медведев П. В., Осолков И. В. Опыт комплексного использования материалов аэро- и космических фотосъемок для поисков локальных поднятий. — Геология нефти и газа, 1979, № 11, с. 23—29.
- Полканов В. П. Кольцевые образования на междуречье рек Тунга и Тюкяна и их связь с тектоническими структурами. — Исследование Земли из космоса, 1981, № 1, с. 37—42.
- Пятницкий В. К. Комплексная интерпретация космоснимков и геолого-геофизических материалов Сибирской платформы. — В кн.: Комплексная интерпретация космоснимков нефтегазоносных территорий. Л.: изд. ВНИГРИ, 1981, с. 53—66.
- Растегин А. А., Кучай Л. А. Прогноз погребенных поднятий с использованием дистанционных методов (на примере Непско-Ботуобинской антеклизы). — В кн.: Тектоника нефтегазоносных областей Сибири. Новосибирск: изд. СНИИГГиМСа, 1983, с. 134—140.
- Розанов Л. Н. Влияние динамики неотектонических движений на формирование фотона на космоснимках. — В кн.: Комплексная интерпретация космоснимков нефтегазоносных территорий. Л.: Труды ВНИГРИ, 1981, с. 14—31.
- Савин В. Е. Сравнительный анализ данных геолого-структурного дешифрирования космических снимков и структурного плана палеозоя в пределах Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. — В кн.: Использование космической информации в нефтяной геологии. М.: изд. ВНИГНИ, 1981, с. 56—69.
- Старосельцев В. С. Тектоника базальтовых плато. — В кн.: Нефтегазоносность Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1981, с. 55—65.

**АНАЛИЗ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ
ПО ТЕРРИТОРИИ ВИЛЮЙСКОЙ ГЕМИСИНЕКЛИЗЫ**

Структурно-геологическое картирование в пределах закрытых территорий представляет определенную сложность в связи с маскирующими свойствами поверхностных рыхлых отложений и особенностями ландшафта, определенного ими. В то же время применение мелкомасштабных материалов дистанционных съемок, в частности космических снимков (КС), благодаря их свойству генерализации позволяет в ряде случаев внести уточнения в существующие представления о геологическом строении исследуемых районов [Можаев, 1979; Башилова и др., 1973]. Основным приемом при структурном дешифрировании КС закрытых территорий считается анализ ландшафтных индикаторов, плотности фототона, структуры фотополя и т. п., что составляет элементы косвенных дешифровочных признаков (ДП). Такой подход к изучению КС предполагает обусловленность ДП тектоническими и геохимическими долгоживущими процессами и, следовательно, связь их со структурами, залегающими порой на глубине 20 км [Шилкин, 1979]. К геологически закрытым регионам принадлежит и Вилюйская мезозойская впадина, выполненная в центральной части мощным разрезом рыхлых континентальных слабодислоцированных отложений от позднеюрского до четвертичного возраста включительно.

Незначительная степень литификации этих отложений способствовала образованию весьма пологих форм рельефа, объединенных в Центрально-Якутскую равнину с превышениями порядка первой сотни метров. Здесь много озер, болот и лесов.

В результате анализа разномасштабных КС в черно-белом, спектрально-зональном и многозональном исполнении удается различить сложное блоковое строение Вилюйской гемисинеклизы. Наиболее интересны, по нашему мнению, два блока, имеющих секущую в северо-западном направлении ($\sim 300^\circ$) к современному структурному плану региона ориентировку.

Один из них — Линденский, прилегающий к восточной окраине платформ, ограничен взаимопараллельными линеаментами, трассируемыми по долинам рек Линде и Делинде. Простираение его соответствует преобладающему в районе ориентированию трещиноватости горных пород и осей магнитных аномалий. Светлый фототон Линде-Делиндинского междуречья, отвечающий полю развития четвертичных аллювиальных песков, подчеркивает плановую конфигурацию и отдельность блока. Существование его было отмечено нами и ранее [Чугунов, 1982]. Позже по данным сейсморазведки он обособлялся как Северо-Линденский выступ по поверхности допермских отложений (по материалам ПГО «Ленанефтегазгеология»). Ширина выступа составляет 15—20 км. На западе и востоке он ограничен двумя сбросами амплитудой до 400 м по разломам, соответствующим Линденскому и Делинденскому линеаментам. Эти линеаменты, ориентированные вкрест современного простираения пород, хорошо согласуются со структурным планом кристаллического фундамента, выполненного в районе пенгским переработанным катархейским комплексом [Геология..., 1981]. Метаморфические комплексы фундамента смяты в сложную систему линейных и куполовидных складок хорошо выраженного северо-северо-западного простираения, что подчеркивается чередованием протяженных максимумов и минимумов той же ориентировки. Можно предположить поэтому, что структура фундамента в определенной степени оказала влияние на формирование и ориентировку разнопорядковых разрывных нарушений, одним из которых является, в частности, Жиганский глубинный разлом. Линденский поперечный разлом, по данным дешифрирования КС, имея весьма значительную протяженность, сечет разновозрастные породы от кембрия на юго-восточном склоне Анабарской антеклизы до

верхнего мела в районе Линденской впадины. Результаты его современной активности наблюдались в процессе наземных исследований.

По данным полевых наблюдений, р. Линде, несмотря на свою зрелость, значительную боковую выработку долины и интенсивное меандрирование, проявляет общую тенденцию к глубинной эрозии. На это, в частности, указывает наличие цокольных террас в поле развития юрских пород. В среднем течении реки левая надпойменная терраса, выполненная четвертичными речными песками, имеет эрозионный характер при высоте до 20—25 м. Отмечается наличие левых притоков со ступенчатым продольным профилем, с «подвешенными» устьями, свидетельствующими об обновлении, опускании базиса эрозии. Эти факты указывают на современные движения положительного знака по левобережью р. Линде. Заметна тенденция к миграции русла в юго-западном направлении, что, впрочем, может объясняться как ростом структуры по левобережью Линде, так и эффектом Бэра — Бабинье, согласно которому равнинные реки Северного полушария размывают правые берега. В качестве косвенного признака растущего поднятия можно принять во внимание обилие термокарстопоявлений в пределах означенной зоны [Великоцкий, 1972].

О современной активности этого района свидетельствуют и результаты высокоточного нивелирования, в соответствии с которыми он испытывает движения положительного знака [Бочаров, Есикова, 1980].

Результаты геохимического изучения вдоль зоны разрывных нарушений, отдешифрированных на КС (гидрохимические и литохимические), показали возможность их использования для уточнения природы линейных фотоаномальных зон. Линденский разлом, фиксируемый в качестве крупнейшей фотоаномальной зоны в пределах Вилюйской гемисинеклизы, опробовался вкrest его простираения. По комплексу гидрохимических показателей (общая минерализация, HCO_3 , Ca), фоновый уровень концентрации которых определен на основании вариационных кривых распределения отдельно для каждого профиля, учитывая разновозрастность опробуемых отложений, выявлено совпадение аномальных зон с предполагаемой зоной разгрузки подземных вод по глубинному тектоническому нарушению. Установлено пониженное значение таких гидрохимических показателей, как $\text{K} + \text{Na}$ и NH_4 , в зоне предполагаемого тектонического нарушения. Сходные результаты получены в процессе литохимического опробования рыхлых поверхностных отложений вкrest простираения Линденского линеймента. Статистический расчет суммарного коэффициента контрастности микроэлементов, проведенный в пределах геохимических профилей, также фиксирует совпадение литогеохимической аномальной зоны с предполагаемой зоной разрывных нарушений вдоль р. Линде (см. рисунок). Ряд слабоконтрастных аномальных зон, выявленных на флангах Линденской линейной аномалии, связаны, возможно, с более

мелкими опережающими нарушениями. Мелкие линейменты в пределах Хоруонка-Линденского междуречья расположены кулисообразно в среднем под углом 45° к границам блока, образуя в плане эшелонированную

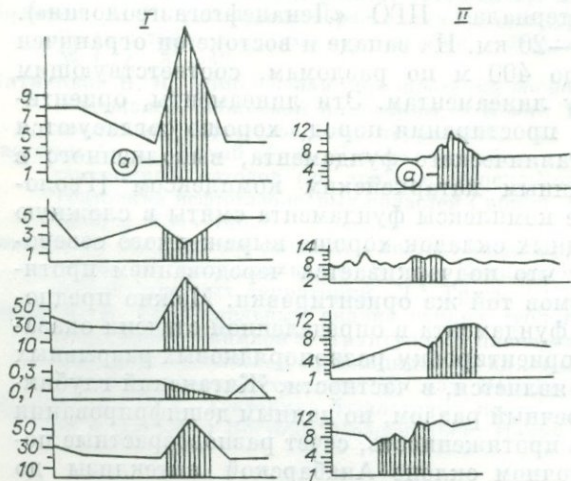


Схема распределения в пределах профилей опробования гидрохимических показателей (I), суммарного коэффициента контрастности различных элементов (II).

a — зона Линденского линеймента.

структуру, характерную для сдвиговых деформаций. Косвенно сдвиговую природу блока подтверждает и ступенчатый в плане рисунок водотоков, дренирующих этот блок. Замер тектонической трещиноватости в породах обнажений по р. Линде и реконструкция полей главных напряжений по методу М. В. Гзовского [1954] показали, что оси минимального нормального сжатия и минимального нормального растяжения лежат в ряде случаев в горизонтальной плоскости. Это также определяет деформацию типа сдвига. Примечательно, что у восточной границы блока со стороны краевого прогиба фиксируется несколько структурных осложнений по отражающим горизонтам Т, Ю, М, к числу которых относится и Прибрежная антиклинальная структура.

Второй региональный секущий блок — Нижневилуйский, расположенный в 60 км западнее Линденского, ориентирован субпараллельно, имеет ширину 50—70 км, пересекает р. Вилюй в нижнем ее течении, ограничиваясь здесь региональными линеаментами, совпадающими с Тангарымским глубинным разломом на юго-западе и Неджели-Кенкемесским — на северо-востоке. В юго-восточном направлении границы блока трансформируются до р. Лены, проходя через Табагинский и Кангаласский мысы. На северо-западе они наблюдаются до среднего течения рек Тюнг и Линде, прерываясь на их водоразделе линеamentом северо-восточного простирания. На сверхмелкомасштабных телевизионных космоснимках этот блок выделяется более плотным фототонном и специфической струйчатой структурой фотопоя. С востока к нему кулисообразно примыкает серия оперяющих линеamentов, свидетельствующих, вероятно, о наличии в подвижках блока горизонтальной составляющей. Восточным экзоконтактом блока контролируется цепочка локальных структур по отражающему горизонту ТП: Уорангская, Илинская, Богдокунская, Хоромская.

В региональных геофизических полях выявленная структура отображения не находит, вероятно, вследствие малых амплитуд смещения. В рельефе, почти на всем своем протяжении, зона приурочена к междуречным пространствам, сопровождается аномальной густотой термокарстопроявлений. При пересечении его Вилюем последний на выходе из зоны круто меняет направление, долина Вилюя резко расширяется, обилие стариц говорит о замедлении течения, приводящем к повышенному ее меандрированию. Эти факты свидетельствуют о современном приподнятом положении Нижневилуйской поперечной зоны.

Наличие поперечной структуры в пределах гемисинеклизы было выявлено и ранее. А. А. Гудков [1968] отметил поперечную зону по кровле карбонатных палеозойских отложений, протягивающуюся от нижнего течения рек Марха, Тюкян до верховья р. Синяя.

Идентичную позицию занимает и кембрийский рифогенный барьер, связанный с системой глубинных разломов фундамента и ограниченный ими. Морфологически он выражен в виде вала, имеющего пологий юго-западный и крутой флексуобразный северо-восточный склоны [Савицкий, Асташкин, 1979].

Таким образом, можно сказать, что поперечные линейные структуры с простиранием 300° — явление достаточно закономерное и свойственное, во всяком случае, нижнепалеозойскому структурному плану. Примечательно ухудшение степени дешифрируемости указанных поперечных блоков на КС по мере удаления от Верхоянской складчатой системы на запад.

Выводы. В результате дешифрирования мелкомасштабных и сверхмасштабных материалов космической съемки на территории Вилюйской гемисинеклизы выявлены две ортогонально ориентированные линейно-площадные фотоаномалии, интерпретируемые как малоамплитудные блоковые структуры. Ориентировка разломов, ограничивающих эти блоки, была, вероятно, предопределена еще в допермское время, подвижки по ним связаны с периодами активизации Верхоянской складчатой области и формированием краевого прогиба в меловое время, о чем свидетельствуют внутриформационные разрывы в отложениях аграфеновской свиты.

Изучение по КС ландшафтных индикаторов совместно с элементами тектонофизического анализа позволяет предположить существенное участие сбросо-сдвиговых процессов в ходе образования указанных блоков.

Предполагается, что ряд локальных складок в осадочном чехле гемисинеклизы контролируется региональными секущими блоками и связан в определенной степени с деформациями типа сбросо-сдвигов.

Выявление и локализация участков, предрасположенных к смещениям по разломам, дадут возможность прогноза территорий, перспективных на обнаружение складчатых структур.

ЛИТЕРАТУРА

- Башилова И. И., Еремин В. К., Михин Г. В. Космические телевизионные снимки как средство тектонического районирования крупных территорий и прогнозирования полезных ископаемых на примере Западно-Сибирской плиты и прилегающих районов.— В кн.: Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. М.: Наука, 1973, с. 102—110.
- Бочаров Г. В., Есикова Л. В. Вертикальные движения земной коры на территории Якутской АССР.— Бюл. НТИ ЯФ СО АН СССР. Геология и полезные ископаемые Якутии, Якутск, 1980, с. 10—13.
- Великоцкий М. А. Связь термокарстовых процессов с неоструктурами и интенсивностью новейших тектонических движений на территории Яно-Омолойского междуречья.— В кн.: Проблемы криологии. Вып. 11. М.: Изд-во МГУ, 1972, с. 54—64.
- Геология нефти и газа Сибирской платформы.— М.: Недра, 1981.— 552 с.
- Гзовский М. В. Тектонические поля напряжений.— Изв. АН СССР, 1954, № 5, с. 390—410.
- Гудков А. А. Тектоника осадочного чехла Вилюйской синеклизы и прилегающих районов Приверхоянского прогиба.— В кн.: Тектоника, стратиграфия и литология осадочных формаций Якутии. Якутск: изд. ЯФ СО АН СССР, 1968, с. 32—41.
- Можаяев Б. Н. О современном состоянии теоретической базы космогеологических исследований.— В кн.: Аэрокосмические исследования природных ресурсов Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: изд. ИГиГ СО АН СССР, 1979, с. 6—20.
- Савицкий В. Е., Асташкин В. А. Роль и масштабы рифообразования в кембрийской истории Сибирской платформы.— В кн.: Геология рифовых систем кембрия Западной Якутии. Новосибирск: изд. СНИИГГиМС, 1979, с. 5—18.
- Чугунов Л. Г. Результаты дешифрирования снимков в Центральной Якутии.— Бюл. НТИ ЯФ СО АН СССР. Геология и полезные ископаемые Якутии, Якутск, 1982, с. 22—25.
- Шилкин А. Н. Использование космических фотоснимков для решения задач нефтяной геологии (на примере Прикаспийской впадины).— В кн.: Развитие и использование аэрокосмических методов изучения природных явлений и ресурсов. Новосибирск: изд. ВЦ СО АН СССР, 1979, с. 123—136.

В. С. СТАРОСЕЛЬЦЕВ, Т. А. ДИВИНА, М. И. МУРАТОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ПАЛЕОРАЗРЫВОВ] В УСЛОВИЯХ РАСЧЛЕНЕННОГО РЕЛЬЕФА

Появление снимков поверхности Земли из космоса обусловило качественный скачок в выделении тектонических дислокаций, особенно дизъюнктивных. В результате дешифрирования космоснимков были намечены многочисленные разрывы, не зафиксированные ранее геолого-геофизическими методами. Среди них особое место занимают разрывы, не затрагивающие верхние структурные ярусы изучаемых регионов. Выделение таких разрывов в значительной мере облегчается в условиях расчлененного рельефа, когда на поверхность эрозионного вреза выходят образования нескольких структурных ярусов, иногда частично перекрытые четвертичными отложениями. Подобная ситуация имеет место на северо-западе Средне-Сибирского плоскогорья, где в глубоко врезанных крупных долинах

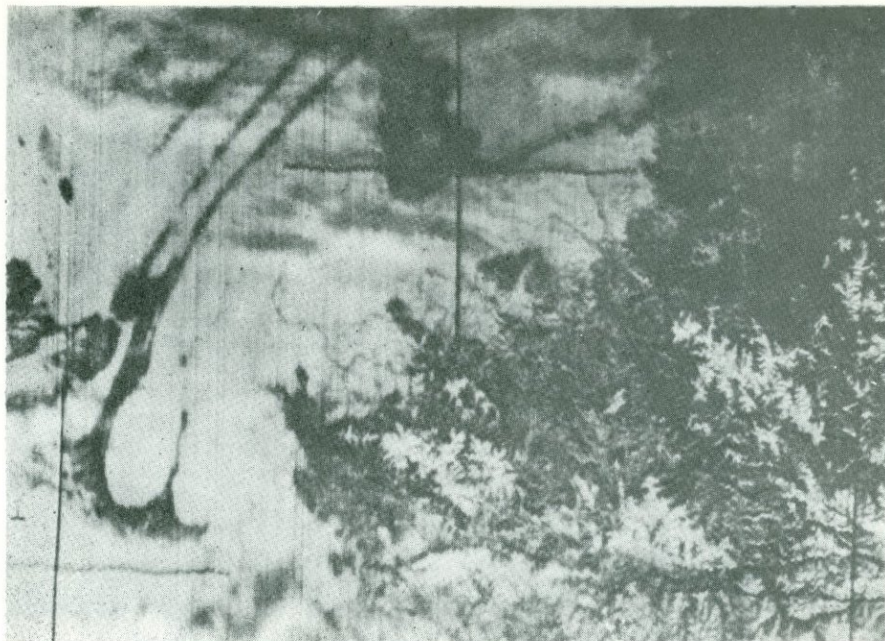


Фото 1. Фрагмент телевизионного снимка с ИСЗ системы «Метеор» (ноябрь 1976).



Фото 2. Фрагмент телевизионного снимка ИСЗ системы «Метеор» (март 1980).

К СТАТЬЕ В. С. СТАРОСЕЛЬЦЕВА И ДР.
«ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ...»



Фрагмент мелкомасштабного телевизионного космоснимка северо-западной части Сибирской платформы (система «Метеор»). Стрелкой на снимке указан участок прямолинейного прерывистого элемента северо-западной ориентировки (положение меридиана отражает светлая черта), пересекающий район полевых работ.

К СТАТЬЕ Л. К. ЗЯТЬКОВОЙ
«ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ...»

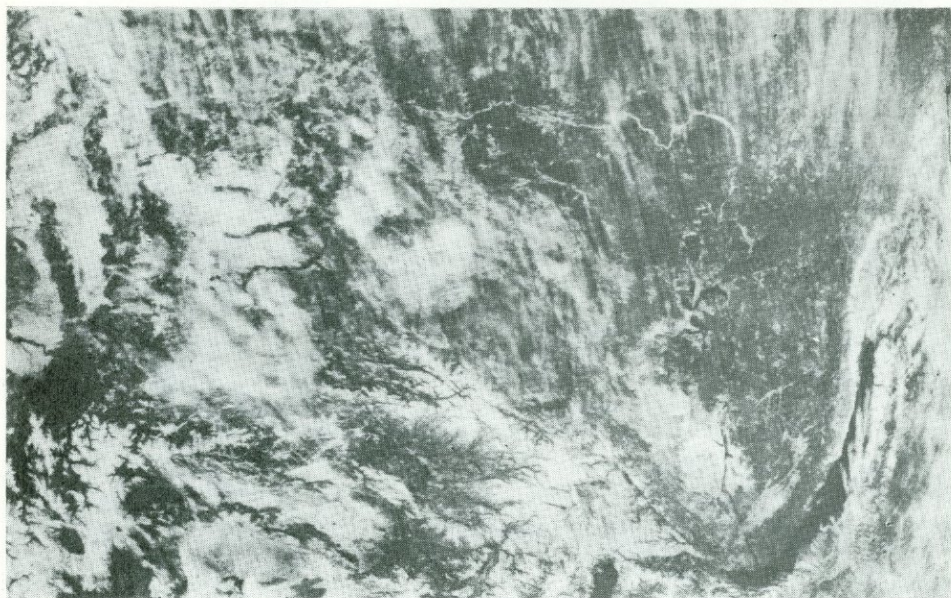


Фото 1. Фрагмент телевизионного снимка ИСЗ системы «Метеор», отражающий сопряжение Сибирской платформы, Алтае-Саянской горной области, Забайкалья и Байкальского рифта между ними.

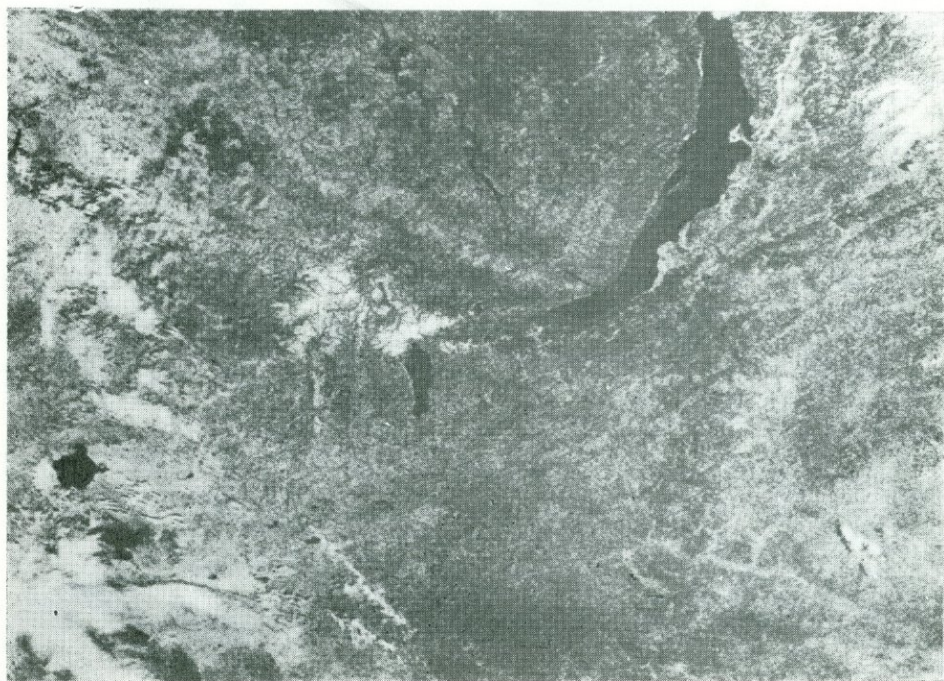


Фото 2. Фрагмент телевизионного снимка ИСЗ системы «Метеор». Орогенная структурно-геоморфологическая ступень Западной Сибири. Общий характер рельефа южного горного обрамления, стык Сибирской платформы и активного южно-сибирского горного обрамления.



Фото 3. Монтаж космофотокарты Сибири из фрагментов телевизионных снимков ИСЗ системы «Метеор». Отражены основные структурно-орографические элементы Сибири: переходные зоны сочленения платформ и орогенов, основные глубинные зоны разломов.

К СТАТЬЕ А. Е. МАЛЫХИНА
«ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ»

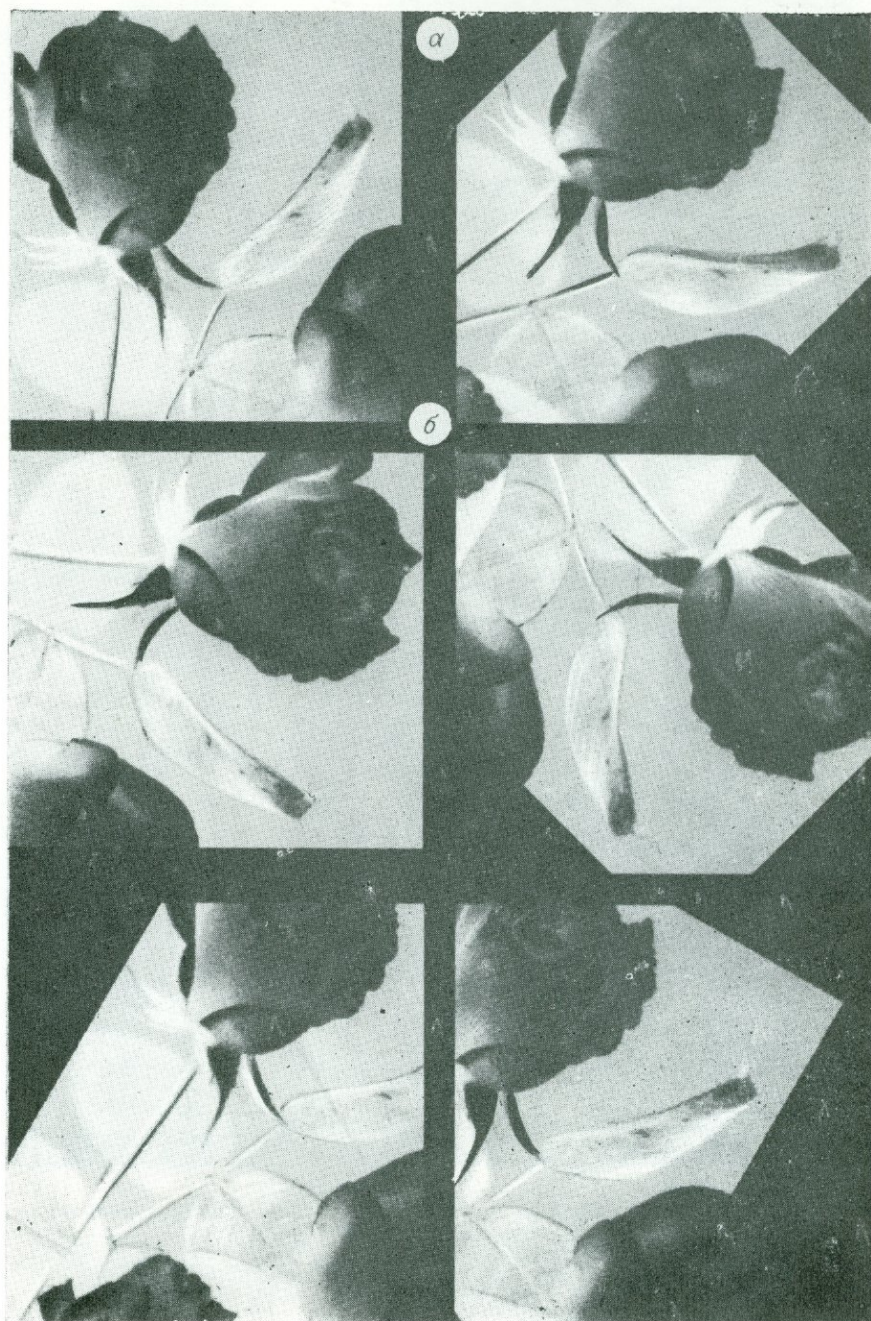


Фото 1. На условном рисунке демонстрируются повороты (а) и нелинейные геометрические преобразования (б) изображений.



Фото 2. Географическая привязка и монтаж сканерных ИК снимков низкого разрешения.

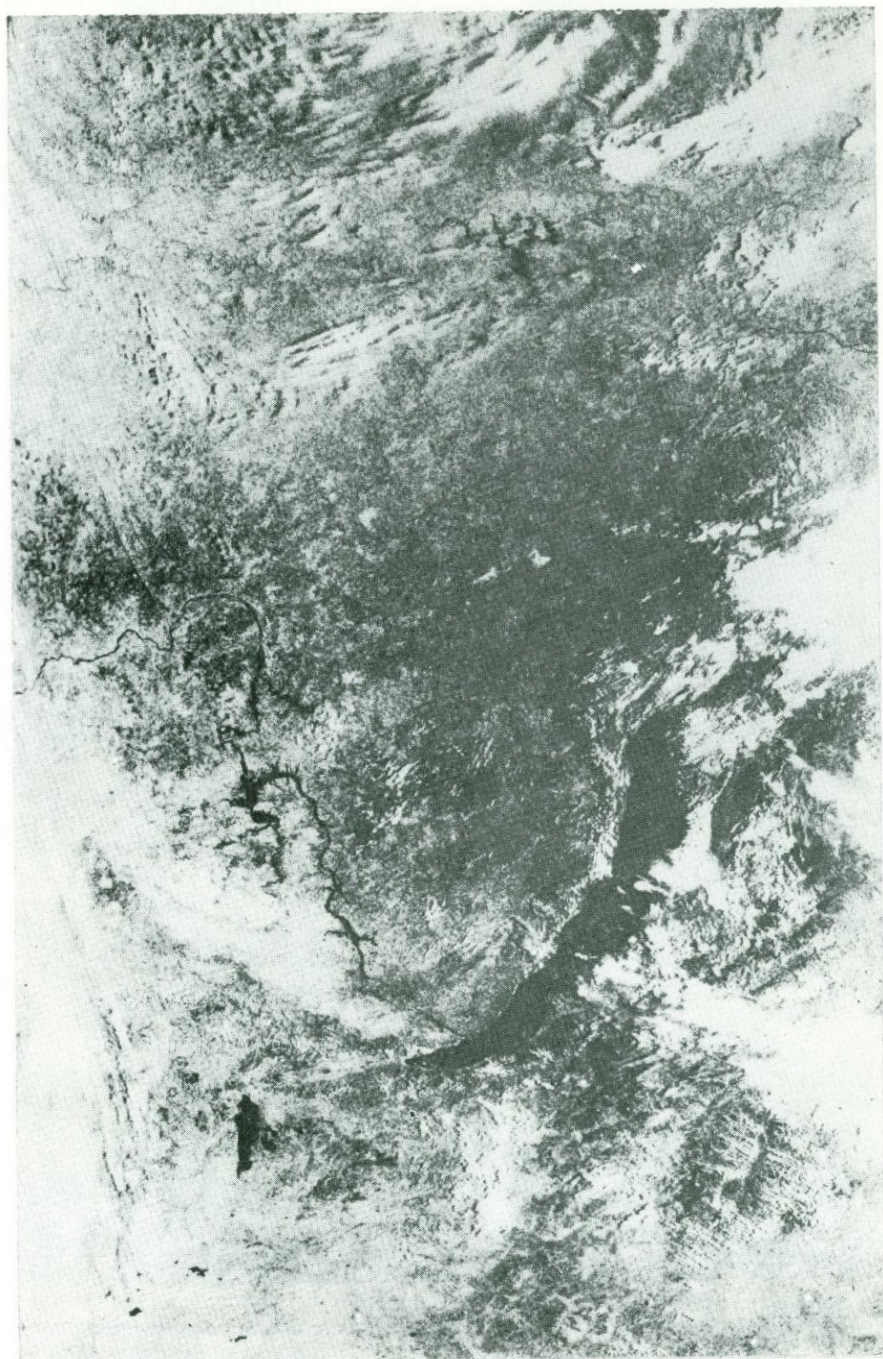


Фото 1. Фрагмент телевизионного снимка с искусственного спутника Земли системы «Метеор-25» (июль 1978). Байкальская впадина. Район сопряжения Сибирской платформы, Главного Саянского разлома и Байкальской впадины.



Фото 2. Фрагмент телевизионного снимка с искусственного спутника Земли системы «Метеор-29» (июнь 1979). Байкальская впадина, на примере которой проводился структурный анализ космических снимков монтажно-апликационным методом.

из-под толщи базальтовых покровов триасового возраста выходят палеозойские осадочные горизонты, интродуцированные трапповой магмой.

Дешифрирование мелкомасштабных космоснимков этой территории позволило выявить прямолинейный прерывистый элемент северо-западной ориентировки (см. фото в приложении), хорошо видной лишь в широких долинах рек Хантайка и Курейка, где развиты палеозойские породы, и совершенно не прослеживающейся на прилегающих участках базальтового плато. Попытки установить связь этого элемента с известными по геологическим картам, в том числе и крупного масштаба, разрывными нарушениями не дали положительных результатов: его положение было дискордантным относительно известных структур. С целью выяснения его природы авторами в 1983 г. были проведены полевые работы на юго-восточном склоне Норильского плато, где рассматриваемый элемент по космоснимку следится в поле распространения палеозойских пород (рис. 1) и практически не виден в триасовых базальтах.

Особое внимание в процессе полевых работ было обращено на дизъюнктивную нарушенность, трещиноватость*, стратиграфический диапазон, мощность и вещественный состав палеозойских отложений. К сожалению, по условиям обнаженности изученный участок оказался не совсем подходящим для решения поставленных задач в полном объеме. На большей его части не было встречено обнажений коренных пород, по которым можно было бы твердо установить наличие или отсутствие разрывных нарушений с заметными амплитудами продольного перемещения их крыльев. Такое положение было характерно не только для зоны изучаемого прямолинейного элемента, но и для большинства разрывов, показанных на геологических картах.

Исключением в этом отношении являлся разрыв северо-восточной ориентировки, проходящий вдоль р. Туколанда на юго-востоке территории, которая отражена на рис. 1. На правом берегу этой реки в 1,9 км ниже устья р. Лонтако на протяжении 270 м наблюдаются коренные выходы зеленоцветных доломитов, глинистых доломитов и известковых аргиллитов нижнего ордовика высотой 2—5 м, падающих под углом до 50—70° по азимуту 300—340°. Преобладающее простирание пород совпадает с направлением разрывного нарушения, показанного на геологической карте (см. рис. 1). В самом обнажении также фиксируются многочисленные разрывы, ориентированные по азимуту 20—50°. Поверхности их сместителей занимают как субвертикальное, так и пологонаклонное положение с падением под углом 20—30° по азимуту 130° и 5—10° по азимуту 290°. Особенности разрывной тектоники описанного обнажения находят отражение и в трещиноватости пород (см. рис. 1, станции 1—8). В зоне субвертикального разрыва, ориентированного по азимуту 50° и пересекающего обнажение между станциями замера трещиноватости 2 и 3, наблюдается интенсивное ожелезнение перекрывающих ее валунно-галечных четвертичных отложений. Эта зона трассируется и на противоположный берег р. Туколанда. В целом рассмотренное направление разрывов является типичным для Норильского района, отражая его основной структурный рисунок.

В 400 м выше по течению р. Туколанда от описанного обнажения на пологой пойме ее правого берега наблюдаются низкие коренные выходы доломитов нижнего ордовика, расположенные северо-западнее охарактеризованной зоны разрывных нарушений. Породы здесь падают под углом 10° по азимуту 280°. Значительно отличается по сравнению с описанной выше зоной и трещиноватость пород (см. рис. 1, станция 9). Среди трещин резко преобладают ориентированные по азимуту 325°. Аналогичная аномалия, только по азимуту 335°, наблюдается на розе-диаграмме трещиноватости доломитов в обнажении на правом берегу р. Туколанда в 0,5 км выше впадения в нее р. Тэбьети (см. рис. 1, станция 10). Примечательно, что именно между станциями замера трещиноватости 9 и 10 проходит

* Замеры трещин и построение роз-диаграмм выполнены Л. А. Москаленко.

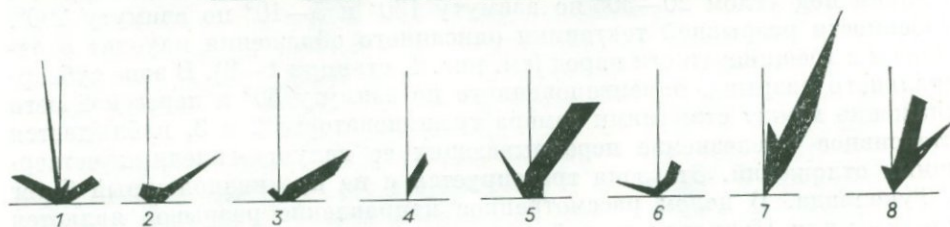
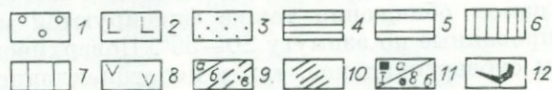
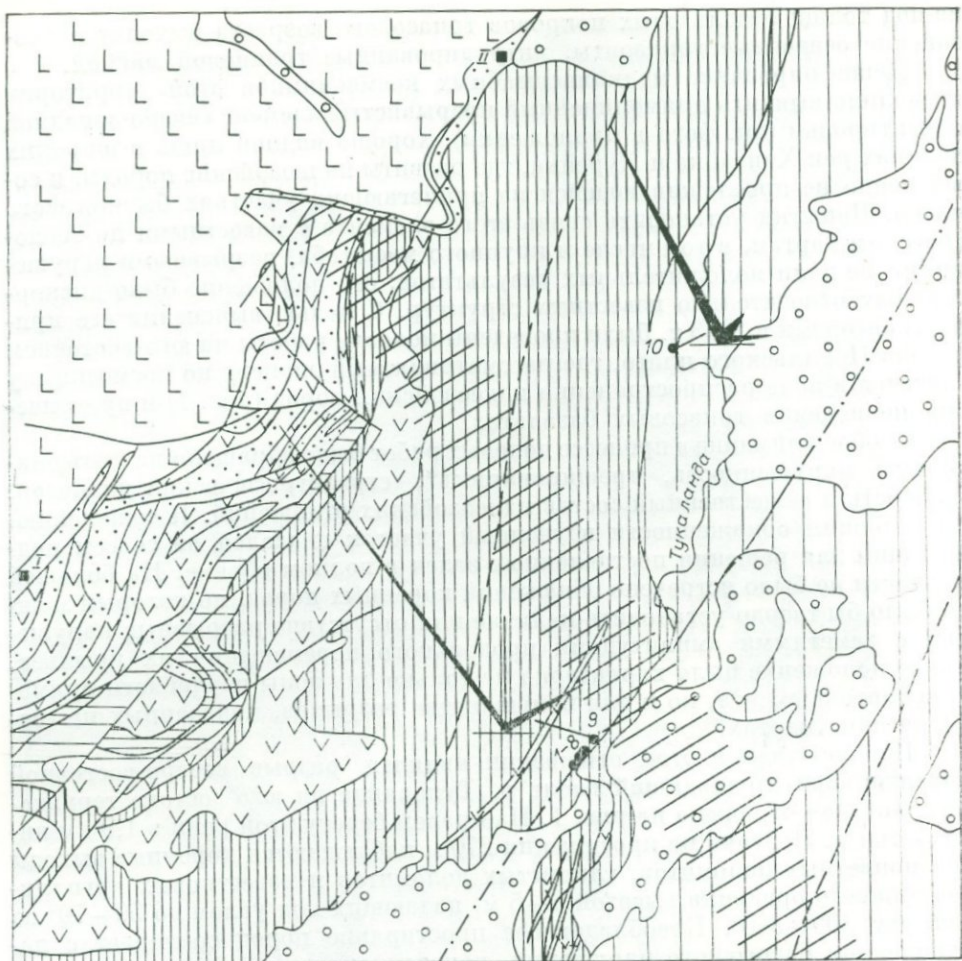


Рис. 1. Схематическая геологическая карта района полевых работ (юго-восточный склон Норильского плато).

1—8 — породы: 1 — четвертичные, 2 — триасовые, 3 — верхнепалеозойские, 4 — силурийские; 5 — среднеордовикские, 6 — нижнеордовикские, 7 — кембрийские, 8 — интрузивные триасовые; 9 — разрывные нарушения (а — установленные, б — предполагаемые, в — скрытые под четвертичными отложениями); 10 — предполагаемая зона палеоразрыва; 11 — место расположения изученных разрывов верхнего палеозоя (а) и станций массовых замеров трещиноватости (б); 12 — розы диаграммы трещиноватости пород.

интересующий нас прямолинейный прерывистый элемент, отдешифрированный по космоснимку.

Вблизи этого прямолинейного элемента происходят и существенные изменения стратиграфической полноты разреза ордовикско-силурийских преимущественно карбонатных пород, перекрытых верхнепалеозойскими терригенными угленосными отложениями. К юго-западу от него последние залегают на нижнесилурийских, а к северо-востоку — на нижнеордо-

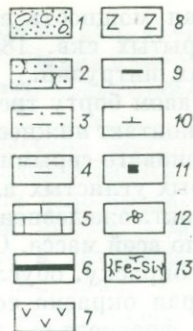
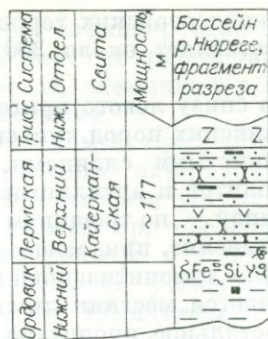
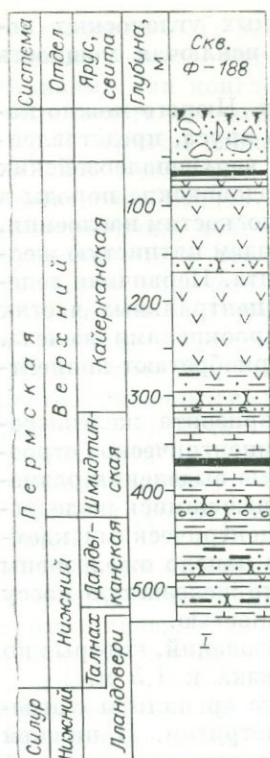


Рис. 2. Разрывы Верхнепалеозойских отложений юго-восточного склона Норильского плато (I — скв. Ф-188; II — естественные обнажения в долине третьего снизу левого притока, р. Нюреге).

Вещественные характеристики разрезов: 1 — конгломераты, гравелиты; 2 — песчаники; 3 — алевролиты; 4 — аргиллиты; 5 — известняки; 6 — угли; 7 — долериты; 8 — базальты; 9 — углистость; 10 — карбонатность; 11 — пирит; 12 — отпечатки флоры; 13 — коры выветривания.

викских образованиях. Параллельно изменяются стратиграфическая полнота, мощность и вещественный состав самих верхнепалеозойских отложений, что имеет большое значение для понимания генезиса изучаемого прямолинейного элемента и потому заслуживает подробного рассмотрения.

Несмотря на относительно близкое (около 20 км) расположение разрезов верхнего палеозоя, вскрытого скв. Ф-188 в истоках р. Лонтако и описанного по обнажениям в долине третьего снизу левого притока р. Нюреге (см. рис. 1), их состав и строение заметно различаются. В верховьях р. Лонтако верхнепалеозойские отложения залегают на породах лландовери и в нижней своей части представлены согласно используемой норильскими геологами стратиграфической схеме Ю. Г. Гора и других талнахской и далдыканской свитами нижней перми. Для этой части разреза (рис. 2) характерно чередование пачек тонкопереслаивающихся алевролитов и аргиллитов, часто углистых, с мелко- и среднезернистыми углистыми темно-серыми песчаниками. Породы бескарбонатны, лишь в верхней части присутствуют маломощные прослои глинистых известняков и линзы углей. Отмечены отпечатки и углефицированные фрагменты флоры. Слоистость в пачках бескарбонатных пород часто имеет нерезкие границы, что придает ей неясный, расплывчатый вид («растрепанная» слоистость). Мощность нижнепермских образований около 100 м.

Залегающие выше отложения шмидтинской свиты характеризуются очень широким набором породных разновидностей: от конгломератов и гравелитов до известняков пелитоморфных и углей. Практически все типы пород карбонатны, что является отличительной особенностью отложений этой свиты наряду с буроватым цветом их выветрелой поверхности. В конгломератах и гравелитах с песчаниками в качестве заполняющей массы очень часто присутствуют линзочки блестящего угля по обрывкам листов флоры, подчеркивающие слоистость. Мощность свиты 110 м.

Венчает разрез кайерканская свита, представленная в нижней части песчаниками с линзами конгломератов и гравелитов, а в верхней — переслаивающимися алевролитами, аргиллитами, углистыми их разновидностями, углями. Породы сероцветны, бескарбонатны, сильно метаморфизованы при внедрении интрузии мощностью около 180 м. Характерны значительные сингенетичные нарушения слоистости вплоть до ее полного исчезновения. Мощность свиты более 90 м.

Общая мощность верхнепалеозойских терригенных угленосных пород, вскрытых скв. 188, составляет около 300 м, исключая мощность траповых интрузий.

В правом борту третьего снизу левого притока р. Нюреге можно наблюдать контакт нижнеордовикских пород чуньского яруса, представленных зеленовато-серыми глинистыми сланцами, и верхнепалеозойских темно-серых углистых алевролитов и аргиллитов. Ордовикские породы в зоне контакта ожелезнены, внизу — по трещинам и плоскостям наслоения, выше — по всей массе. Ожелезнение, придающее породам пятнистую желто-бурую окраску, обусловлено лимонитизацией пирита. Первичная зеленовато-серая окраска сохраняется местами лишь в центральных частях породных фрагментов, все остальное пропитано гидроокислами железа. Выше по разрезу породы становятся комковатыми, приобретают концентрическую отдельность.

В массе ожелезненных пород встречено два горизонта железисто-кремнистых образований, имеющих конкреционно-концентрическое строение, мощностью от 0,1 до 0,3 м. Встречаются отдельные выделения размером до $0,5 \times 0,3$ м, сложенные в центре тонкопереслаивающимися железистыми и кремнистыми разностями и окруженные концентрическими каемками гидроокислов железа. В верхней части породы нацело ожелезнены и представляют собой желтую и вишневую кремнисто-железистую массу характерной очковой текстуры с подушечной отдельностью.

Мощность описанных кремнисто-железистых образований, которые по всем признакам являются корой выветривания, близка к 1,5 м.

Выше согласно залегают темно-серые алевритовые аргиллиты с отпечатками флоры, углефицированным растительным детритом. В нижней части у контакта с породами ордовика аргиллиты содержат песчаный материал и мелкие плоские гальки до 1 см по длинной оси зеленовато-серых глинистых сланцев. Такие гальки встречаются спорадически и выше по разрезу. По мере удаления от контакта аргиллиты постепенно сменяются глинистыми алевролитами с прослоями сильно углистых аргиллитов. Затем с небольшими перерывами на дневную поверхность выходят песчаники светло-серые средне- и мелкозернистые, косослоистые, чередующиеся с пачками горизонтально тонкослоистых глинисто-алевоитовых, часто углистых пород с прослоями и линзами углей. Среди осадочных пород встречен изолированный выход (около 5 м в поперечнике), скорее всего, секущего тела долеритов. Венчает разрез пачка углистых глинисто-алевоитовых пород с характерной для осадочно-пирокластических образований скорлуповатой отдельностью, перекрытых покровами толеитовых базальтов. Мощность отложений верхнего палеозоя 117 м.

Сопоставление приведенных (см. рис. 2) разрезов показывает, что геологическая история охарактеризованных ими участков существенно различалась. После предпозднепалеозойского перерыва осадконакопление на участке верховьев р. Лонтако началось в начале ранней перми, а в бассейне р. Нюреге — лишь в середине поздней. При этом в последнем случае была сформирована кора выветривания кремнисто-железистого состава. В предкайерканское (шмидтинское и позднедалдыканское) время на первом участке отложилось большое количество карбонатного материала как в виде цемента и обломков в песчано-алевоитовых и примеси в глинистых породах, галек хорошей окатанности в конгломерато-гравелитах, так и прослоев и линз чистых тонкозернистых, местами глинистых известняков. Режим осадконакопления в этот период был, видимо, весьма изменчивым. Область сноса, которая, скорее всего, ограничивалась заметным уступом рельефа, то приближалась, то отодвигалась, неоднократно и часто резко изменяя высоту стояния по отношению к бассейну седиментации. Это привело к накоплению того широкого спектра осадков (от тонкозернистых известняков до конгломератов), которым характеризуется шмидтинская свита. При этом обнажающиеся в уступе рельефа нижнепалеозойские породы поставляли в большом количестве гранулометрически разнородный карбонатный материал в бассейн седиментации. Резкая сме-

на тектонических движений зафиксирована в разрезе, например, налеганием на тонкозернистый известняк грубозернистых песков с «плавающими» гальками или конгломератов, сложенных в значительной степени обломками подстилающего известняка.

В периоды спокойной седиментации, когда в бассейн поступало минимальное количество обломочного материала и накапливались глинисто-известковые осадки, на поверхности уступа могли формироваться коры выветривания, частично смытые при последующей эрозии, а местами сохранившиеся в западинах рельефа и перекрытые в дальнейшем кайерканскими глинисто-алевритовыми угленосными осадками. Нельзя при этом не отметить такой факт. Шмидтинские породы верховьев р. Лонтако отличаются от остальных пород верхнего палеозоя, в том числе и других участков Норильской мульды, буроватым цветом выветрелой поверхности, связанным с высвобождением железа в процессе современного выветривания. Наличие кремнисто-железистых продуктов выветривания на поверхности предкайерканского уступа позволяет предположить возможную синхронность обогащения осадков бассейна аккумуляции этим элементом и формирования коры выветривания существенно железистого состава.

Анализ всей совокупности приведенных материалов показывает, что выделенный на мелкомасштабном космоснимке прямолинейный элемент контролировал особенности осадконакопления и относительное превышение разделенных им участков изученной территории в течение всего позднего палеозоя. Это отчетливо зафиксировано в изменениях стратиграфической полноты разреза нижнепалеозойских пород и перекрывающих их верхнепалеозойских отложений, а также в мощностях и вещественном составе последних. Его ориентировка хорошо подтверждается особенностями изменения трещиноватости нижеордовикских пород, которые проявляются несмотря на близкое расположение зоны более поздних интенсивных дислокаций северо-восточной ориентировки.

Юго-западнее рассматриваемого элемента в верхнепалеозойских отложениях норильскими геологами зафиксирована интрузия дифференцированных габбро-долеритов, с которыми в районе часто связаны богатые сульфидные медно-никелевые руды. На продолжении этого элемента к юго-востоку наблюдаются интенсивные проявления жильных пирротиновых руд в верхнепалеозойских отложениях долины р. Кулюмбе и зона резкого выклинивания нижней части раннетриасовых базальтов на междуречье Виви и Тутончаны. В то же время в вышележащих покровах базальтов практически на всем протяжении изучаемый элемент прямого отражения не находит. Все изложенное позволяет сделать вывод о его, вероятнее всего, дизъюнктивной природе и активном проявлении в течение позднего палеозоя и частично раннего триаса.

Таким образом, дешифрирование мелкомасштабного космоснимка, сопровождаемое целенаправленными полевыми исследованиями, позволило выявить ранее неизвестный палеоразрыв, имеющий принципиальное значение для понимания не только палеотектонических особенностей изученной теории, но и, возможно, закономерностей пространственного размещения сульфидных руд в таком промышленно важном районе, как Норильский. Опыт проведенных исследований может быть широко использован для выделения палеоразрывов во многих сложно построенных регионах с резко расчлененным современным рельефом.

ОПЫТ ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ (на примере юга Восточной Сибири)

Снимки из космоса в подразделениях ВостСибНИИГГиМСа в последнее время находят все более широкое применение. Здесь ведется разработка комплексной методики дешифрирования геологических структур на базе исследования космических фотоснимков (КФС) и космических телевизионных снимков (КТС) различных типов и масштабов. Как известно, космическая информация имеет немаловажное значение для обнаружения ранее неустановленных, трудно диагностируемых или «скрытых» структур и, что самое важное, для установления таких особенностей строения земной коры в верхних этажах и на более глубинных ее уровнях, которые недоступны для общепринятых геолого-геофизических методов их распознавания. Особенно это касается глубинных разрывных нарушений и крупных структур регионального типа различного генезиса и морфокинематической характеристики, которые испытали длительное развитие и в целом создали современную интегральную картину строения верхней части земной коры. Это имеет огромное прикладное значение, так как расшифровкой этой части литосферы в основном и занимается практическая геология с позиции освоения содержащихся в ней полезных ископаемых.

Дешифрирование КФС авторами велось последовательно, от общего к частному, начиная от мелкомасштабных космических снимков (КС), обладающих более высоким уровнем генерализации фотоизображения структурных элементов, и кончая среднемасштабными КС, с которых снимался основной объем информации по верхним структурным этажам с уточнением его по аэрофотоснимкам (АФС) с высокой разрешающей способностью. В последующем сопоставлялись данные дешифрирования с материалами геолого-геофизических съемок соответствующего и более крупного масштабов.

Информация с КС снималась путем визуального дешифрирования черно-белых и цветных снимков разного масштаба, выполненных в различных зонах спектра. В большинстве случаев для обеспечения большей объективности одна и та же площадь дешифрировалась в различном исполнении (если это позволяли материалы), учитывая климатические сезоны, высоту и время съемок, направление полетов, степень перекрытия отдельных снимков и другие особенности дешифрирования. Обязательным условием на первых этапах дешифрирования (кстати, наиболее емких и объективных по уровню получаемой информации) являлось отсутствие какой-либо геологической и геофизической основы или другого интерпретационного материала. Этим достигалась достаточная непредвзятость самого процесса получения информации, которая оказывалась наиболее ценной в последующем, при непосредственном сопоставлении независимых друг от друга данных дешифрирования и геолого-геофизических материалов. Важным, но едва ли качественно и объективно оценимым условием является принцип одновременного, совещательного дешифрирования двумя или несколькими специалистами: иногда этим достигается полная уверенность в геологических реалиях объектов, обнаруживаемых на КС, в других же случаях, как это нередко случается и при наземных геологических исследованиях, некоторые «космические объекты» получают разную геологическую интерпретацию, оспариваются или вовсе не распознаются одним или несколькими из участников дешифрирования. При этом сказываются геологический опыт, уровень специальной или общей профессиональной подготовки, занимаемая позиция участников дешифрирования и масса других объективных и субъективных условий. И все же бесспорным условием для обеспечения наибольшей объективности получаемых при космодешифрировании материалов является их обсуждение на результатив-

ных этапах максимально широким кругом специалистов (оптимистически или скептически настроенных по отношению к самому методу исследования). Этот тезис едва ли требует пояснения, поскольку он представляется единственно вероятным для наиболее корректного установления геологической природы тех или иных отдешифрованных элементов. Идентификация последних в различных условиях создает необходимые предпосылки для их разбраковки путем сопоставления с различным интерпретационным материалом. В случае совпадения данных последнего с отдешифрованными элементами для них устанавливаются соответствующие интерпретационные характеристики и нередко такие элементы приобретают характер своеобразных эталонов. При этом особого внимания заслуживают отчетливо дешифрируемые элементы, не имеющие достаточного геологического или геофизического объяснения, особенно в относительно слабо изученных и «закрытых» районах, так как в большинстве случаев геологические структуры различного ранга, возраста и глубинности прямо или косвенно отражены в ландшафтно-геоморфологических элементах изучаемых территорий.

Дешифрирование КС и АФС дает возможность получить единовременную информацию о геолого-структурной обстановке огромных территорий в ее интегральном, взаимосвязанном виде. Это обстоятельство представляется особенно важным, поскольку оно коренным образом отличается от традиционных геологических методов исследования, при которых сведения о геологическом строении этих территорий получены от частного к общему в результате многолетних фрагментарных работ, выполненных многочисленными исследователями. В силу этого такие материалы имеют мозаичный характер и с большей или меньшей степенью достоверности объединены в единое целое лишь на сводных картах различных масштабов, каждая из которых в значительной мере отражает концепцию их авторов. Кроме того, такие материалы в отличие от КС не дают возможности для непрерывного прослеживания даже наиболее крупных разрывных нарушений, вносят разночтение при выделении крупных блоков, структурно-фациальных и формационных зон, при выявлении положения границ блоков, определении генетической характеристики их ограничений и т. д. Поэтому информация, снимаемая с КС одновременно с теми же исполнителями в сочетании с ее непрерывностью для больших территорий, позволяет выявлять и анализировать их структуру в целом и в деталях как единый региональный структурный каркас. И наконец, лишь с появлением космофотоматериалов (КФМ) выяснилось чрезвычайно широкое развитие такого класса структур, как кольцевые (круговые) структуры различного ранга, морфологии и генезиса. Такие структуры ранее картировались как частные случаи в определенных условиях, будучи экспонированными на дневной поверхности. КФМ позволили выявить также погребенные кольцевые и кольцеобразные замкнутые структуры, генетическая природа большинства из которых гипотетична. Но вместе с тем очевидно, что подобная кольцеобразная структурная организация верхних слоев литосферы является едва ли не оптимальной, особенно в высокоподвижных зонах, где протекают интенсивные процессы магматизма, ультраметаморфизма и другие процессы, связанные с вязкопластическим течением вещества и т. д. Еще раз необходимо подчеркнуть, что метод дешифрирования КС не является самодовлеющим и всеобъемлющим, но, безусловно, на современном этапе геологических исследований его роль представляется весьма значительной, этот метод существенно дополняет традиционные геолого-геофизические методы исследований и в значительной степени расширяет их структурные возможности.

Авторами с помощью КС охвачена значительная часть Байкальской складчатой системы и пограничные с ней области юга Сибирской платформы. К сожалению, внутренние территории последней в большинстве случаев обеспечены лишь мелкомасштабными КФС и КТС довольно низкого качества, в силу чего детальность космофотодешифрирования различных площадей рассматриваемой территории оказалась неравнозначной.

При анализе материалов дешифрирования сравнивалось общее содержание полученной информации, точность нанесения разрывных нарушений и линеаментов неясной природы, а также границ тех или иных типов тектонических структур с подобными же элементами, отображенными на различных геологических, геофизических и структурно-геоморфологических картах. Наиболее перспективные площади для поисков полезных ископаемых или особо сложные структурные узлы, требующие более детальной расшифровки их внутреннего строения, изучались по АФС различных масштабов. Для наглядности и большего визуального охвата исследуемой территории из КС смонтированы фотопланы.

Материалы, рассматриваемые в статье, выполнены в различных масштабах (от 1 : 7 500 000 до 1 : 1 000 000), уточнялись, детализировались по среднемасштабным КС. Они сведены в космофотоструктурные схемы среднего и малого масштаба, в последующем совмещенных и уменьшенных в произвольном масштабе.

Опыт работы показал, что для внутренних районов Сибирской платформы и ее краевых ограничений, где развит мощный чехол осадочных пород, наиболее информативны мелкомасштабные КС. В районах интенсивных дислокаций и относительно хорошо обнаженных весьма эффективны средне- и крупномасштабные КС и АФС. Они дают большую дополнительную информацию по внутреннему строению крупных геологических объектов, помогают выделить различной значимости разрывные нарушения, характер взаимоотношений различных структур, их относительный возраст, морфологию и динамику развития. Таким образом, с КФМ различных масштабов снимается различная по своему содержанию геолого-структурная информация. Мелкомасштабные снимки (1 : 1 000 000 и мельче) позволяют картировать наиболее крупные структуры, в том числе не проявленные на дневной поверхности, перекрытые осадочным чехлом или другими породами верхних структурных этажей в пределах складчатых сооружений. Иными словами, этим методом с большей или меньшей степенью достоверности выявляются основные особенности структурного каркаса фундамента Сибирской платформы и комплексов основания складчатых областей. Сюда относятся глубинные разломы и региональные линеаменты предположительно разломной природы, в том числе разломы, имеющие сквозное прохождение через различные космогеологические регионы, секущие и смещающие зону сочленения Сибирской платформы и ее складчатого обрамления и глубоко проникающие во внутреннее поле этих областей. С большой степенью достоверности выделяются такие крупные структуры, как синеклизы и антеклизы, антиклинории и синклинории, зоны и области поднятий и опусканий, зоны смятия, границы структурно-формационных зон, крупных блоков, их тектоническая природа и т. д. Таким образом, по мелкомасштабным КФМ удастся произвести тектоническое районирование огромных территорий юга Восточной Сибири с различным структурно-тектоническим строением, на различных вертикальных уровнях с учетом глубинного строения тех или иных областей.

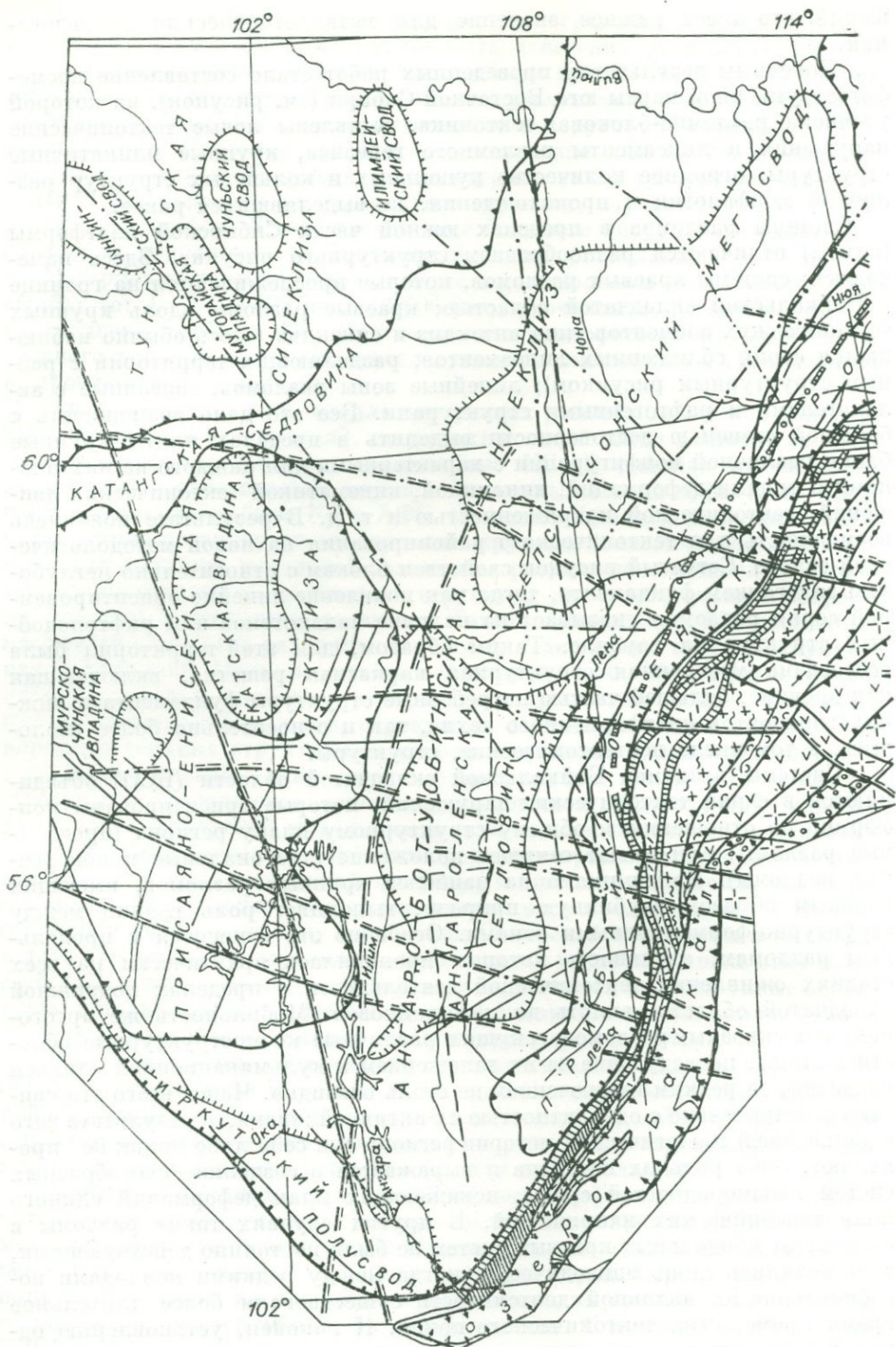
Средне- и крупномасштабные КФМ несут информацию почти исключительно о структурах, непосредственно экспонированных на дневной поверхности или располагающихся на относительно малых глубинах и перекрытых маломощным слоем вышележащих пород. Структуры крупных порядков не имеют на них четкого выражения, их границы расплывчаты, обычно утрачивается эффект их генерализации. С другой стороны, такие КФМ с большой степенью детальности позволяют установить внутреннее строение крупных тектонических элементов, откартировать или уточнить положение или взаимоотношения большинства складчатых структур более высоких порядков, практически все разрывные нарушения и другие линеаменты. В результате наложения обоих типов информации не только удастся получить интегральную картину современного строения верхних уровней земной коры вплоть до кристаллического основания, но и появляется возможность для ретроспективных реконструкций, выявления динамической и кинематической характеристик для многих разрывных нару-

шений; что имеет важное значение для металлогенических исследований.

Конечным результатом проведенных работ стало составление космофотоструктурной карты юга Восточной Сибири (см. рисунок), на которой уточнена разломно-блоковая тектоника, выявлены новые тектонические нарушения и линеаменты разломного генезиса, крупные пликативные структуры, огромное количество купольных и кольцевых структур различной морфологии и происхождения, не выделявшихся ранее.

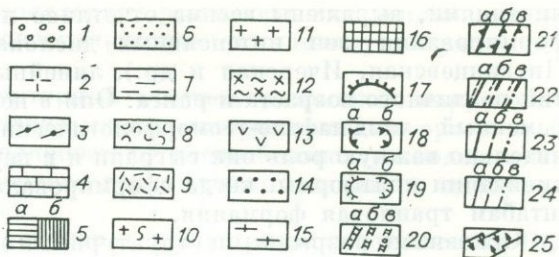
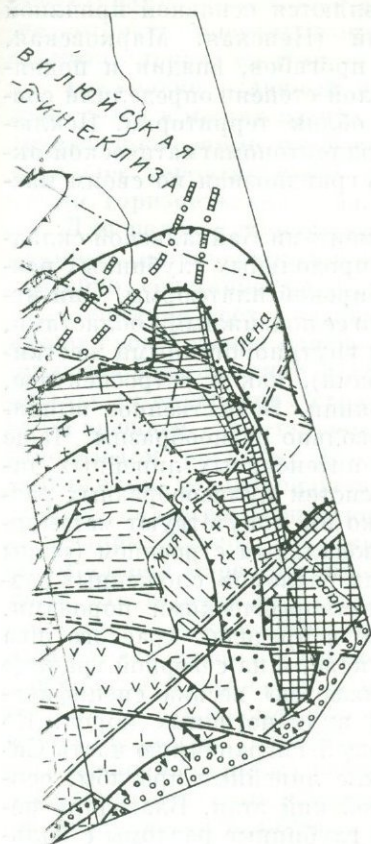
Системы разломов в пределах южной части Сибирской платформы (плиты) отличаются разнообразием структурного рисунка. Здесь намечаются: системы краевых разломов, которые прослеживаются на границе с Байкальской складчатой областью; краевые разломы вдоль крупных тектонических элементов типа антеклиз и синеклиз (здесь обычно наблюдается серия сближенных линеаментов, разделяющих территории с разным структурным рисунком); линейные зоны разломов, связанные с авлакогенами и рифтогенными структурами. Все это дало возможность с большой степенью достоверности выделить в пределах плиты крупные блоки различной конфигурации с характерными для каждого из них планами и типами деформаций, динамикой, кинематикой тектонических движений, тектонической напряженностью и т. д. В результате появилась возможность для тектонического районирования на новой методологической основе. Сетчатый рисунок свойствен блокам с относительно неглубоким залеганием фундамента, тогда как появление линейно-ориентированной серии разломов указывает на наличие авлакогенов или рифтоподобных структур на глубине. Таким образом, для этой территории была воссоздана уточненная структурная каркасная решетка, включающая как древние, большей частью погребенные структуры фундамента и нижних горизонтов платформенного чехла, так и относительно более «молодые», в том числе неотектонические, структуры.

Системы разломов Байкальской складчатой области (БСО) объединяются в серии тектонических нарушений, которые ориентированы конформно по отношению к общему структурному плану региона (продольные разломы) или имеют секущее положение (диагональные и поперечные разломы). Большинство из наиболее крупных разломов, имеющих главным образом глубинную природу, выполняет роль границ между структурно-формационными зонами. Особенно это относится к продольным разломам, активность которых проявлялась практически на всех стадиях оживления тектонической деятельности в пределах подвижной складчатой области, вплоть до мезо-кайнозоя. Мобильность же ортогональных сквозных разломов, секущих различные космоструктурные области в этапы, последующие за их заложением и кульминационной стадией развития, за редким исключением не столь очевидна. Чаще всего это связано действительно с одноактностью их активной жизни, в результате чего в дальнейшей геологической истории региона они себя либо никак не проявляют, либо роль их пассивна и выражается в создании своеобразных систем неоднородностей среды, искажающих план деформаций единого поля тектонических напряжений. В других случаях такие разломы в отличие от продольных краевых систем не были постоянно действующими, а оживлялись лишь эпизодически, когда между редкими периодами возобновления их активной деятельности существовали более длительное время промежутки тектонического покоя. И наконец, установлению одноактности или полицикличности развития этих разломов препятствует то обстоятельство, что сам характер движения по ним в момент мобилизации нередко не приводит к сколько-нибудь существенным структурным перестройкам в околоразломном пространстве, по которым можно было бы судить о времени заложения и всех последующих этапах их активизации. В пределах складчатого обрамления такие разломы чаще всего картируются как относительно узкие линии, вдоль которых нарушается сплошность пород с их смещением в пространстве, а на КС — как границы раздела участков с различным структурным планом, стилем, зеркалом



складчатости. Иногда по ним происходит выклинивание или «срезание» структурно-формационных зон.

При выходе в тело платформы распознавание диагональных и поперечных разломов в значительной степени затруднено. Это может быть объяснено тем, что при большой мощности отложений осадочного чехла платформы и их относительно более высокой пластичности диагональные и поперечные разломы редко проявляются на поверхности в форме нару-



25 0 50 100 км

Схема структурно-тектонического районирования Сибирской платформы и Северо-Байкальской складчатой области на основе космоструктурного дешифрирования.

Структурно-вещественные комплексы Байкало-Патомской складчатой области. Райнозойские. 1 — грубообломочные отложения рифтовых долин (осадочные формации Байкальского рифта). Венд-палеозойские ие. 2, 3 — структурно-формационные зоны: 2 — Витимо-Баргузинская (терригенные, терригенно-карбонатные формации внутриорогенных прогибов и гранит-батолитовые формации Ангаро-Витимского ареал-плутона дейтероорогенного поднятия), 3 — Мамская (метаморфические формации силлиманит-кианитового типа зоны тектонической активизации). Рифейские. 4 — Чаро-Жуинская структурно-формационная зона (терригенно-карбонатные и карбонатные формации перикратонного прогиба); 5—7 — комплексы Байкало-Патомского мезеосинклиналичного прогиба, структурно-формационные зоны: 5 — внешняя (а — Приленская, б — Прибайкальская подзоны, терригенно-сланцево-карбонатные и карбонатно-сланцевые формации), 6 — переходная (Жуинская, сланцево-терригенные и карбонатно-терригенные формации), 7 — внутренняя (Бодайбинская, терригенно-карбонатно-сланцевые и сланцево-углеродистые формации); 8, 9 — структурно-формационные зоны: 8 — Олокинская (терригенно-вулканогенные и вулканогенные формации внешней подзоны эвгеосинклиналичной зоны), 9 — Приморско-Акитканская (вулканоплутонические и терригенно-вулканогенные формации зоны автономной активизации краевого шва Сибирской платформы). Нижнепротерозойские. 10—12 — комплексы Чуиско-Нечерского валобразного протерогенного поднятия, структурно-формационные зоны: 10 — Чульская (гранит-мигматитовые и метаморфогенные формации), 12 — Лонгорская (гранит-батолитовые и осадочно-метаморфические формации); 13, 14 — структурно-формационные зоны: 13 — Муйская (терригенно-вулканогенные и вулканогенные формации «зеленокаменных поясов» и островодужных систем), 14 — Удокавская (терригенные и сланцево-карбонатно-терригенные протоплатформенные формации). Рхей-нижнепротерозойские. 15, 16 — комплексы краевых выступов фундамента платформы, структурно-формационные зоны: 15 — Ольхонская (гнейсово-мигматитовая формация), 16 — Чарская (ультраметаморфические и гранит-мигматитовые формации).

Дешифрируемые разломы, линеаменты, границы космоструктурных областей и структурно-формационных зон. 17 — современная граница осадочного чехла Сибирской платформы; 18, 19 — структуры осадочного чехла Сибирской платформы: 18 — I порядка, 19 — II порядка (а — антиформные, б — синформные); 20 — шовные зоны глубинных продольных разломов, входящих в систему краевого шва Сибирской платформы в современном их выражении (а — выходящие на дневную поверхность и проявленные в виде «зон смятия», дислокационного метаморфизма, сближенных ровов тектонических нарушений и даек базитового состава, линейных тел и цепочек гранитоидных массивов или вулканических структур и т. д.; б — предполагаемые, проявленные на поверхности в виде отдельных кулисообразных разломов или их систем, зон складчатых деформаций и в ландшафтно-геоморфологических элементах; в — погребенные («несквозные»), выраженные в морфо-структурах рельефа и частично подтвержденные геофизическими материалами); 21 — линеаменты разломной природы глубинного заложения, разделяющие структурно-формационные зоны в пределах складчатой области; 22 — разрывные нарушения, образующие системы разломов, секущие космоструктурные области и структурно-формационные зоны; 23 — крупные разрывные нарушения, их системы и линеаменты предположительно разломной природы, разделяющие космоструктурные блоки и входящие в региональную структурную каркасную решетку в пределах космоструктурных областей; 24 — прочие («рядовые») разломы (а — достоверные, подтвержденные интерпретационным материалом; б — предполагаемые; в — линеаменты неясной природы); 25 — система рифтовых впадин и ограничивающих их разрывных нарушений (Байкальский рифт). В позициях 21—23: а — установленные на дневной поверхности и подтвержденные геолого-геофизическим, структурно-геоморфологическим и другим интерпретационным материалом (ИМ); б — предполагаемые «сквозные» линеаменты, косвенно подтвержденные ИМ; в — погребенные («несквозные») линеаменты нижних структурных этажей предположительно разломной природы, выраженные в ландшафтно-геоморфологических элементах.

пений сплочности пород, а фиксируются на КС в виде ундуляций крупных складок, смещений зон продольных складчатых деформаций в плане, в заметной смене морфоструктурных особенностей рельефа, изменений рисунка гидросети, появлении ориентированных систем «долин — трещин» и других гидроморфоструктур (Молотков, 1983 г.). В то же время разломы внутреннего поля платформы, конформные с ее тектоническими огра-

нениями, выражены весьма отчетливо и являются основной причиной формирования зон интенсивных дислокаций (Непская, Марковская, Литвинцевская, Ичерская и др.), линейных прогибов, впадин и поднятий различного возраста и ранга. Они в немалой степени определили современный ландшафтно-геоморфологический облик территории. Исключительно важную роль они сыграли и в период тектономагматической активизации платформы, когда сформировалась грандиозная по своим масштабам трапповая формация.

Основными разрывными структурными элементами Байкальской складчатой области (БСО) являются крупные зоны продольных глубинных разломов, входящих в систему краевого шва Сибирской платформы. Они играют роль границы последней с обрамляющими ее подвижными областями, с краевыми выступами древнего фундамента и внутриорогенными жесткими поднятиями комплексов основания (глыбами), как в ретроспективе, так и в современном геотектоническом состоянии. Вещественное выполнение и внутренняя структура таких швов довольно разнообразны. Чаще всего они представляют собой мощные зоны интенсивных линейных дислокаций, blastsилонитизации, сближенных систем кулисообразных разрывных нарушений различного ранга. Нередко им сопутствуют метаморфические пояса с характерным поперечным зональным строением («зоны смятия»), особенно в тыловых ветвях глубинных разломов, сложенных разнообразными метаморфическими и ультраметаморфическими породами. В Западном и Северо-Западном Прибайкалье в пределах краевого шва формируется мощный вулканоплутонический пояс, а на северной границе Чарской глыбы глубинные разломы «залечиваются» весьма специфическим комплексом щелочных интрузивных и вулканогенных пород. Во фронтальной части краевого шва, охватывающей пограничную часть Сибирской платформы, устанавливаются широкие линейные прогибы, особенно активно развивающиеся в мезо-кайнозойский этап. Благодаря перечисленным выше особенностям продольные глубинные разломы с большой степенью достоверности дешифрируются на КС, причем их осевые части обычно хорошо распознаются и легко трассируются на местности.

Глубинные разломы краевого шва, ограничивающие БСО с запада и востока, образуют довольно острый ($\sim 35-40^\circ$) входящий угол, далеко проникающий в тело платформы на северном замыкании БСО: Уринская побочная ветвь складчатой системы, по Л. И. Салопу, или рифейский авлакоген в современном понимании. На участке схождения западной и восточной ветвей краевого шва разломы на большем своем протяжении перекрыты фанерозойским платформенным чехлом и занимают кососекущее положение по отношению как к складчатым деформациям рифейских комплексов, так и к осадочным формациям чехла Сибирской платформы. Они прослеживаются по косвенным признакам еще на значительном протяжении в теле платформы, пересекая Вилуюскую синеклизу и соединяясь с входящим углом Верхоянской складчатой области.

Разрывные нарушения системы краевого шва и другие продольные разломы представлены в большинстве случаев взбросами, взбросо-сдвигами, осложненными сериями надвиговых чешуй. Однако в мезо-кайнозойский этап на фоне восходящих орогенических движений интенсивно развиваются усилия растяжения (раздвиги), в результате которых формируются впадины Байкальского рифта S-образной конфигурации. Подобные «разломы-трещины» рифтогенной природы проявлены и в докембрии, когда были сформированы мощные аэральные вулканические пояса, «зеленокаменные пояса» троговых комплексов и островодужных систем и т. д.

Диагональные разломы играют весьма существенную роль в структуре БСО. Они чаще всего приурочены к зонам максимальных напряжений и представлены сбросо- и взбросо-сдвигами. С помощью КС, морфоструктурного анализа и по другим материалам выявляются помимо известных ранее многочисленные поперечные разломы, ориентированные ортогонально по отношению к генерализованному направлению складчатых структур. Образование этих разломов, сопровождаемых грабеноподобными

структурами, связывается с проявлением растягивающих усилий, векторы которых ориентированы перпендикулярно к главному направлению горизонтального сжатия.

Несколько отличный структурный рисунок разрывных нарушений намечается в местах изгиба складчатых зон, где ортогонально ориентированные поперечные разрывы приобретают веерообразное расположение. Наиболее вероятно связь подобного структурного рисунка с деформациями горизонтального изгиба.

Для палеовулканических районов и для устанавливающихся на КС крупных куполовидных поднятий помимо региональных разломов характерно сочетание радиально-концентрических разрывов.

Сочетание всех указанных выше тектонических нарушений обеспечивает своеобразное поясно-секториальное строение БСО, в котором выделяются протяженные дугообразные структурно-формационные зоны с зональным внутренним строением, последовательно сменяющие друг друга от внешней (фронтальной) части складчатой области к ее внутренним районам (см. рисунок). В свою очередь, каждая из таких зон на своем протяжении характеризуется ясно выраженным непостоянством фациальных, палеогеографических и тектонических обстановок, расчленяясь на секторы (блоки), возникновение и последующая эволюция которых в значительной мере предопределены разломно-блоковым строением фундамента. Достаточно независимое развитие этих поперечных блоков-секторов в пределах каждой из зон приводит не только к формированию существенно отличающихся друг от друга структурно-вещественных комплексов пород, резкой фациальной неустойчивости осадочных формаций, но и к различному стилю складчатости, к различию метаморфических и плутонических процессов. Эти признаки чаще всего служат основными факторами для выделения скрытых разломов на уровне комплексов основания и нижних структурных этажей рифейского чехла, которые не достигают дневной поверхности и другими методами трудно распознаваемы. На средне- и крупномасштабных КС и АФС выделяются разрывные нарушения, устанавливаются мозаично-блоковое строение внутри структурно-формационных зон и секторов, пликативные деформации и кольцевые структуры различных типов, генезиса и рангов.

Таким образом, анализируя сочетание крупных разрывных нарушений, глубоко расчленяющих Байкальскую складчатую область, мы приходим к выводу, что на уровне ее кристаллического основания разломно-блоковая структура имеет довольно отчетливую структурную организацию по типу телескопированных подобных треугольников, вложенных один в другой. Наиболее крупные треугольные блоки образованы системами разломов краевого ограничения Сибирской платформы, а основаниям таких треугольников служат системы мощных сквозных ортогональных нарушений. Это особенно хорошо можно продемонстрировать на примере Байкало-Патомской складчатой дуги, охватывающей Бодайбинскую, Жуинскую, Приленскую, Чуйскую, Тонодскую, Лонгдорскую, структурно-формационные зоны (см. рисунок).

В ходе эволюции складчатой структуры Байкальской горной области разрывные нарушения не получили развития вверх по разрезу и на уровне верхних структурных этажей трансформировались в пликативные складчатые деформации, образовав известную Байкало-Патомскую складчатую дугу с плавным разворотом складчатых структур с северо-восточного простирания на юго-западное.

Помимо дизъюнктивных и линейных пликативных структур на КС выделяются кольцевые структуры различных размеров и типов, не устанавливающихся ранее при геолого-геофизических исследованиях. По своей морфологии среди них выделяются купольные (преобладают), депрессионные (собственно кольцевые) и комбинированные (купольно-кольцевые) структуры. По размерам они могут быть подразделены на пять-восемь рангов. По генезису могут выделяться метаморфогенные (гранито-гнейсовые купола), вулканогенные (вулканические и вулканотектониче-

ские), плутонические, тектонические и структуры смешанной или неясной природы. Более детальный разбор этого класса структур является предметом другой работы. Следует лишь отметить, что их морфологический тип, размеры, генезис, частота встречаемости, соотношение между собой, с разрывными и пликативными структурами и т. д. были важными критериями при космоструктурном районировании.

Карта тектонического районирования южной части Сибирской платформы построена не только по результатам дешифрирования, но и по геолого-геофизическим данным. В результате этих работ удалось выявить некоторые закономерности в размещении разрывных нарушений юга Сибирской платформы, установить протяженные системы нарушений. Путем сопоставления с геологическими данными с известной долей вероятности определены время заложения или обновления и геологическая природа крупных нарушений земной коры. Оказалось, что большинство из них образовались в условиях сжатия под влиянием горизонтальных напряжений в земной коре, направленных с юго-запада и юго-востока со стороны складчатой области. Имеются данные, что напряжения этого направления активно действуют в пределах юга платформы и в современную эпоху.

В пределах южной части Сибирской платформы выделяются Ангаро-Ботуобинская антеклиза, которая подразделяется на три крупные самостоятельные единицы: Непско-Чонский свод, Ангаро-Ленскую седловину и четко выраженный на КС Иркутский полусвод; Енисейская краевая антеклиза, северо-восточный склон которой осложнен Байкитским сводом; Присаяно-Енисейская и Тунгусская синеклизы, разделенные Катаангской седловиной, и Прибайкало-Патомский краевой прогиб, осложненный более мелкими структурами.

Участки максимального сжатия — скупивания находятся на окраине Сибирской платформы, на границе с Байкальской складчатой системой и характеризуются чешуйчато-надвиговой структурой, а также веерообразными рисунками разрывных нарушений — виргациями в стороны от них. Результаты структурного дешифрирования КС территории юга Восточной Сибири свидетельствуют о больших возможностях использования космической информации для познания геологического строения района, оценки перспектив и проведения целеустремленных поисков ряда полезных ископаемых.

II раздел

ДИСТАНЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НОВЕЙШЕЙ ТЕКТОНИКИ И СЕЙСМИЧНОСТИ

Л. К. ЗЯТЬКОВА

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АКТИВИЗАЦИИ НОВЕЙШИХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ЮГА СИБИРИ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Общие особенности проявления новейших тектонических движений в структуре земной коры и на земной поверхности достаточно полно отражены как в советской, так и в зарубежной литературе. Особый интерес для дальнейшего развития проблем неотектоники и структурной геоморфологии представляют собой работы В. А. Обручева, С. С. Шульца, Н. И. Николаева, И. П. Герасимова, Ю. А. Мещерякова, А. П. Рождественского, С. К. Горелова, Г. И. Худякова, Н. А. Флоренсова, Н. А. Логачева, Ю. П. Селиверстова, А. Г. Золотарева, О. М. Адаменко.

В этих работах обобщены обширные материалы по новейшей тектонике, проведена классификация типов новейших тектонических движений, дана характеристика особенностей тектонического развития основных геоструктурных областей. В последнее время большими коллективами авторов составлена серия карт новейшей тектоники [Карты новейшей тектоники юга Азии и сопредельных областей, 1981; Карта новейшей тектоники нефтегазоносных областей Сибири, 1978; Карта новейшей тектоники юга Восточной Сибири, 1981; и др.]. Составленные для разных целей разными методами, по «реперам», определяющим амплитуду новейших тектонических движений, они представляют собой неопределимый вклад в изучение этапа новейших тектонических движений, новейшего структурного плана и отражения их в современном рельефе.

О молодом орогенезе и новейших дислокациях в складчатых и платформенных областях писали В. А. Обручев, Б. Л. Личков, Г. Ф. Мирчинк, С. С. Шульц, Н. И. Николаев. Единого мнения о том, что следует понимать под новейшей тектоникой, не было. Сейчас принято, что новейшая тектоника — это те тектонические процессы, которые создают основные черты современного рельефа. Этап новейшей тектоники впервые получил точную датировку — неоген-четвертичное время. Однако накопившийся материал по разным районам юга Сибири и серия вышеупомянутых карт свидетельствуют о том, что этот этап в возрастном диапазоне для разных районов различен (табл. 1). Как известно, в новейшей тектонике Евразии выделяются стабильные и мобильные пояса [Николаев, 1982, 1984]. Относительно стабильные пояса сформировались на платформенных структурах, переработанных неотектоническими процессами. Мобильные пояса охватывают складчатые зоны разного возраста, линейно вытянутые от Атлантического океана до Тихого, с контрастными тектоническими движениями, проявлением вулканизма, землетрясений, образованием тектоногенного рельефа. В пределах этого подвижного пояса выделяются геоструктурные области эпигеосинклинального и эпиплатформенного орогенеза, рифтогенеза и современных геосинклиналей со сложными геодинамическими процессами. Так, наибольшая активизация тектонических движений наблюдалась в эоцен-олигоценное время в районе Тянь-Шаня, Памира, Казахстана, в Алтае-Саянской горной области; в миоцене-плио-

Схема активизации новейших тектонических движений юга Сибири

Геоструктура		Время активизации тектонических движений										
		триас			палеоген			неоген		четвертичное		
Платформы (плиты, плиты с запада на восток)	Орогенный пояс	юра	мел	палеоцен	эоцен	олигоцен	миоцен	плиоцен	ранне	средне	поздне	соврем.
			Копетдаг				+	+	+	+	+	+
	Памир					+	+	+	+	+	+	+
	Тянь-Шань					+	+	+	+	+	+	+
Туранская платформа						+	+	+	+	+		
Казахский щит					+	+	+	+	+	+		
Западно-Сибирская плита							+	+	+	+		
	Алтае-Саянская горная область Алтай				+	+	+	+	+	+	+	+
	Кузнецкий Алатау				+	+	+	+	+	+	-	-
	Западный Саян				+	+	+	+	+	+	+	+
	Восточный Саян				+	+	+	+	+	+	+	+
	Тува				+	+	+	+	+	+	+	+
	Минусинские впадины				+	+	+	+	+	+	+	+
Сибирская платформа									+	+	+	
	Забайкалье, Прибайкалье						+	+	+	+	+	
Амуро-Зейская (Дунбейская) платформа					+	+	+	+	+	+		
	Становое нагорье						+	+	+	+	+	
	Сихотэ-Алинь						+	+	+	+	+	+
	Сахалин						+	+	+	+	+	+
	Камчатка						+	+	+	+	+	+

Примечание. (+)—начало активизации; (-)—наибольшая активизация [Богачкин, 1981; Варламов, 1983; Генералов, 1982, 1983; Золотарев, 1982; Зятькова, 1979; Логачев и др., 1982; Николаев, 1975, 1981; Оболенская, 1983; Шерман, 1983; Карта новейшей тектоники..., 1973; Карта новейшей тектоники юга Азии..., 1981].

цене в пределах Западно-Сибирской молодой платформы; в олигоцене — в Забайкалье, Прибайкалье; на Сахалине, Камчатке — в миоцене-плиоцене.

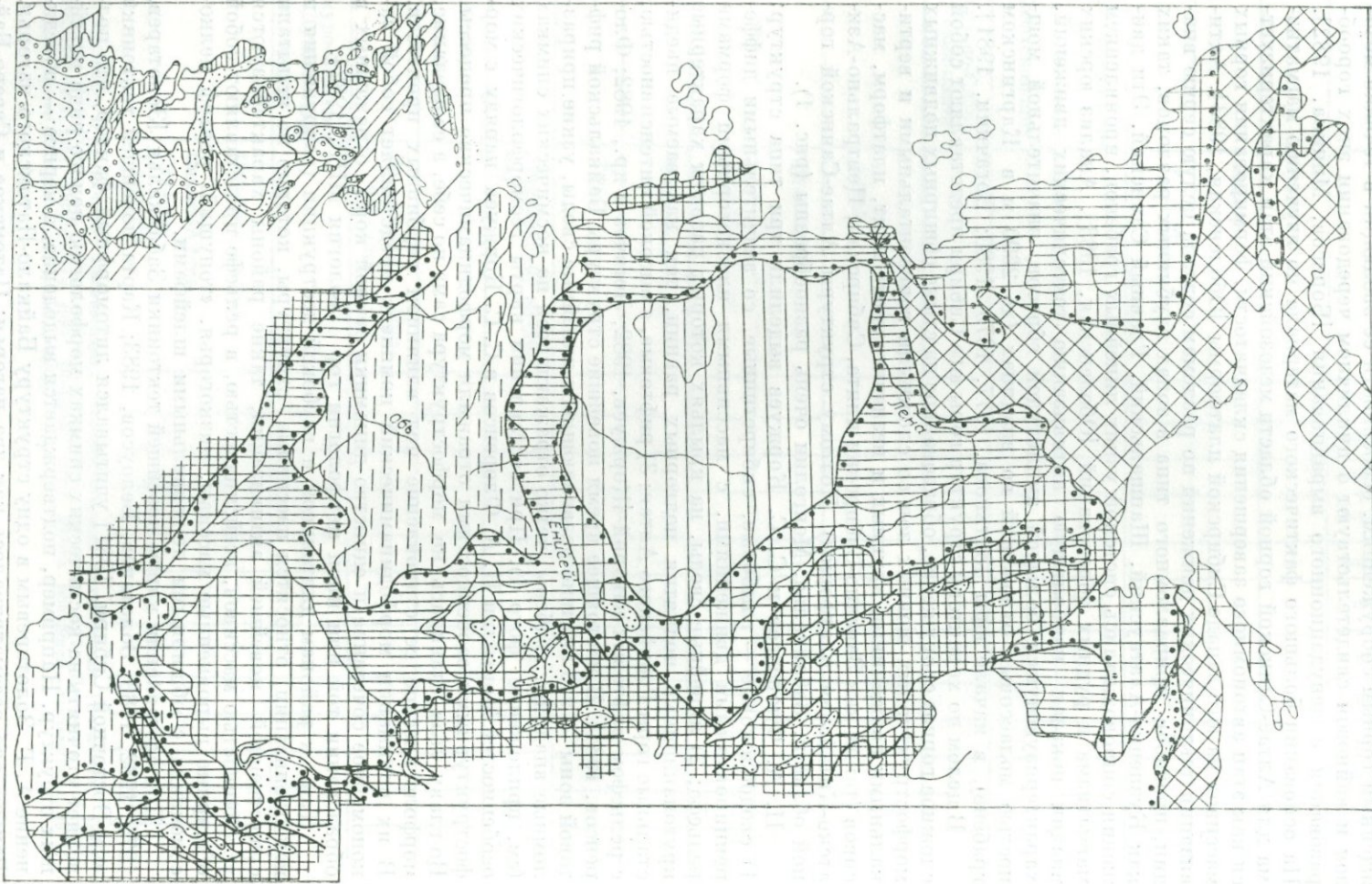
Большое влияние на формирование рельефа горного пояса юга Сибири оказали тектонические движения, которые проявились в Центральных районах Азии. Алтае-Саянская горная область относится к возрожденным горным сооружениям, особенности ее эволюции в течение мезозоя и кайнозоя свидетельствуют о цикличном чередовании эпох горообразования и денудационного выравнивания [Борисов, Минина, 1982]. На основании большого фактического материала по изучению магматизма для Алтае-Саянской горной области мезозойский этап характеризуется как этап автономного завершения складчатости, формирования горных массивов на юго-западе Сибирской платформы [Оболенская, 1983]. Активизация тектонических движений по разломам создала целую серию впадин, прогибов приразломного типа в зонах глубинных разломов, таких как Кузнецко-Алатауский, Шапшальский, Главный Саянский. Эти движения сопровождалась системой узких линейных грабенов, проявлением магматизма и рудных образований [Оболенская, 1983]. Анализ юрских впадин показал наибольшую активизацию тектонических движений, характеризующуюся большой амплитудой сбросов, значительной мощностью молассовых отложений во впадинах (до 2600 м в Каргинском грабене), в начале юры [Зятькова, 1977, 1979, 1980; Богачкин, 1981].

В целом по характеру структур горы юга Сибири представляют собой сложное горное сооружение, образованное на стыке обширных подвижных морфоструктурных шовных зон со сложными горизонтальными и вертикальными движениями крупных и незначительных плит, платформ, массивов (таких как Западно-Сибирская и Сибирская, Центрально-Азиатско-Китайская платформы). Поэтому структуры Алтае-Саянской горной области, Забайкалья, Монголии очень разнообразны (рис. 4).

Н. А. Флоренсов и С. С. Коржуев выделили три типа структур: 1) сводоблочные — глыбовые, сибиретипные, со значительными дифференцированными движениями, с массивными плоскогорными формами рельефа; 2) линейные своды, на крыльях которых развиты характерные крутонаклонные поднятия подгорных равнин, так называемые пьедестальные горы Гобийского Алтая; 3) рифтовые, с высокой интенсивностью, с рельефом рифтовых нагорий [Коржуев, 1982; Логачев и др., 1982; Флоренсов, 1984]. В настоящее время время новейшие структуры Байкальской рифтовой зоны — это активно развивающиеся линейные своды, узкие приразломные впадины, грабены, четко отражающиеся на космических снимках (см. приложение, фото 1). При составлении карты геоморфологических особенностей Монголии Н. А. Флоренсов и С. С. Коржуев наряду с морфоструктурными особенностями отражали морфодинамические процессы. Во главу угла ставилась не морфоструктура сама по себе, а ее создание, морфологическое ее становление под влиянием глубинных процессов. В их понимании морфодинамический комплекс представляет собой закономерное сочетание и единство динамики земной коры, отраженных в образовании той или иной морфологии гор [Геология МНР, 1982].

Так, к районам длительной и глубокой деструкции (разрушения и пенеппенизации) относятся пассивные структуры, которые не испытали существенной новейшей активизации; такие районы характеризуются устойчивостью массивов, асейсмичностью, в рельефе представляют собой обширные выровненные массивы, низкогорья, «тонущий» рельеф мелко-сочника с обширными делювиальными шлейфами.

При составлении карты новейшей тектоники Забайкалья [Золотарев, 1974, 1982, 1983; Золотарев, Белоусов, 1983; Карта новейшей тектоники юга Восточной Сибири, 1981] учитывался литоморфный фактор, что позволяет уточнять на космических снимках морфологию целого ряда новейших структур. Например, подтверждается выделение, а вернее — объединение А. Г. Золотаревым в одну структуру Байкало-Патомского нагорья. Раньше оно рассматривалось как два нагорья: Патомское и Северо-Бай-



Рельеф и геологическое строение территории, прилегающей к реке Иртыш в Казахстане. Геологический разрез по профилю А-Б. Масштаб 1:100 000. 1 - меловые отложения; 2 - меловые отложения; 3 - меловые отложения; 4 - меловые отложения; 5 - меловые отложения; 6 - меловые отложения; 7 - меловые отложения; 8 - меловые отложения; 9 - меловые отложения; 10 - меловые отложения.

кальское. На снимках выделяется единое обширное ступенчатое сводовое Байкало-Патомское поднятие с двумя уровнями: внутренней относительно опущенной частью и внешними концентрически окружающими ее краевыми поднятиями, создающими изометрические (кольцевые) образования (фото 2).

Особого внимания заслуживает изучение дистанционными методами переходной зоны — зоны сочленения различных типов структур платформ и прилегающих к ним орогенов (см. фото 1). На Карте новейшей тектоники юга Восточной Сибири [1981] четко отражена так называемая неотектоническая предорогенная переходная зона, располагающаяся повсеместно между горными системами и областями платформенного режима, в пределах которых появляются первые признаки орогенеза и отмечается нарастание орогенного процесса [Леви, 1981; Шерман, 1983; Леви, Шерман, 1983]. Ширина предорогенной переходной зоны, так же как и в пределах Алтае-Саянской горной области, характеризуется первыми сотнями метров [Зяtkова, 1977, 1979].

Обширная предорогенная область занимает значительную часть Иркутского амфитеатра Сибирской платформы (фото 3). А. Г. Золотарев в этом районе выделяет две группы новейших структур: 1) моноклинальные и ступенчатые поднятия, примыкающие непосредственно к орогенным территориям и постепенно втягивающиеся в них; валлообразные поднятия и линейные депрессии (на снимках хорошо просматриваются переходные предрифтовые зоны Прибайкалья и Забайкалья); 2) переходные ступенчатые приплатформенные зоны Западной Сибири с менее выраженными горизонтальными движениями земной коры, с опущенными блоками под чехлом рыхлых отложений [Варламов, 1983; Генералов, 1982, 1983; Зяtkова, 1977, 1979].

Таким образом, изучение новейшей тектоники дает исходный материал для выяснения: общих и частных особенностей развития современного рельефа при комплексном дешифрировании аэрокосмических фотоматериалов; современного развития географических ландшафтов; морфологии структур; эрозионных и аккумулятивных процессов; различных типов ландшафтов с их реликтивными, «консервативными» и «прогрессивными» элементами и явлениями, вызванными как экзогенными, так и эндогенными процессами.

Изучение современного рельефа с использованием дистанционных методов выявило, что этап активизации для разных районов юга Сибири разновременен и имеет достаточно большие интервалы. На примере гор Юго-Восточной Сибири рассмотрены особенности неотектонического и геоморфологического этапов. Репер отсчета амплитуд новейших тектонических движений для платформенных, орогенных областей и переходных зон будет различным. Как известно, основные черты неотектонической структуры и морфоструктуры региона созданы тектоническими движениями мезозойского и кайнозойского возраста. Однако отдельные морфоструктуры развиваются с позднего палеозоя.

Морфологическое отражение новейших тектонических движений в современном рельефе земной поверхности четко фиксируется на аэрокосмических снимках. Эти черты связей рельефа со структурами имеют большое индикационное значение. Правильное представление о закономерностях

Рис. 1. Схема основных эндоморфодинамических особенностей Сибири и прилегающих территорий (по Л. К. Зяtkовой). На врезке схема глубин залегания складчатого фундамента артезианских бассейнов (Гидрологическая карта СССР под ред. И. К. Зайцева, М., 1980).

1—3 — преобладающие мощности чехла артезианских бассейнов (м): 1—0—1000; 2—1000—3000; 3—3000—5000 и более. 4, 5 — преобладающая высота гидрологических массивов (м): 4 — 0—1000; 5 — 1000—3000. 6—8 — районы распространения эндоморфодинамических процессов, формирующих структурные особенности проявления новейших тектонических движений в пределах: 6 — платформенных областей со слабыми общими поднятиями, с активизацией тектонических движений вдоль разломов молодых (а) и древних (б) платформ; 7 — переходная зона сочленения приплатформенная (а) и предорогенная (б); 8 — орогенная область: сводово-блоковые поднятия с активизацией разломов, излиянием четвертичных базальтов, с сейсмической активностью эпи-платформенных (а) и эпигеосинклинальных мезозойско-кайнозойских (б) орогенов. 9 — межгорные впадины, 10 — границы переходных зон сопряжения платформ и орогенов.

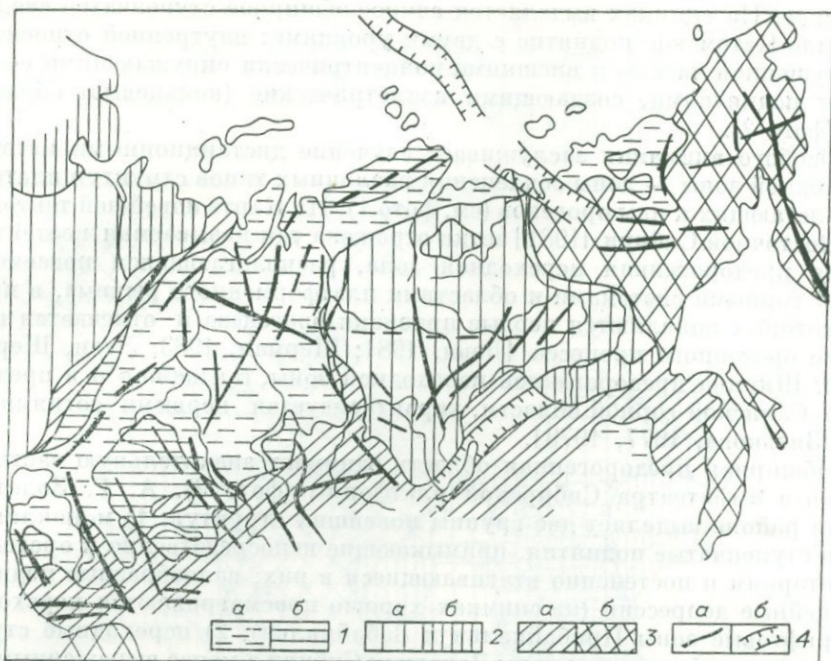


Рис. 2. Схема основных разломов по дешифрированию материалов космических снимков ИСЗ системы «Метеор».

1 — молодые платформы (а — плиты, б — щиты, массивы); 2 — древние платформы (а — плиты, б — щиты, массивы); 3 — орогены (а — эпиplatformенные, б — эпигеосинклинальные); 4 — зоны глубинных разломов (а) и рифтогенные структуры (б).

разнообразных проявлений новейшей тектоники имеет большое значение для изучения сложных процессов развития природной среды и ее рационального использования. Данные структурной геоморфологии и новейшей тектоники необходимы как для характеристики этапов тектонического развития Земли, так и для выявления закономерностей, определяющих унаследованное развитие тектонических движений. Поскольку полезные ископаемые формируются и распространяются в неоген-четвертичных отложениях и молодых пликативных и дизъюнктивных структурах, изучение новейших тектонических движений приобретает большое значение. Необходимо выяснять закономерности происхождения и развития рельефа, изучать образование соответствующих коррелятивных конформных (по Г. И. Худякову) отложений. Все это требует глубокого понимания особенностей возникновения и развития тектонических структур как конструктивного (создающегося) рельефа, так и деструктивного (разрушающегося), по Н. А. Флоренсову и С. С. Коржуеву, и, следовательно, новых подходов, новых методов их изучения [Геология МНР, 1982; Осадчий, 1982].

Как известно, на космоснимках фиксируются элементы новейшей тектоники: разломы, молодые и древние платформы, орогены, рифтогенные структуры. Отражение глубинного строения на космическом снимке (КС) (рис. 2, 3) объясняется унаследованным развитием новейшего тектонического плана по отношению к структурам древнего заложения. Рисунок и тон фотоизображения на КС определяется совокупностью компонентов ландшафта — геоботанических, геоморфологических, литологических и др. Значительное изменение фототона часто зависит от степени увлажненности исследуемых объектов [Розанов, 1982].

Разные типы структур поднятий и опусканий испытывают различные динамические воздействия, в том числе связанные с тепловыми потоками, со степенью увлажненности при восходящих тектонических движениях. На отдельных участках восходящие тектонические движения четко фиксируются, особенно в горных условиях, где фактор денудации земной по-

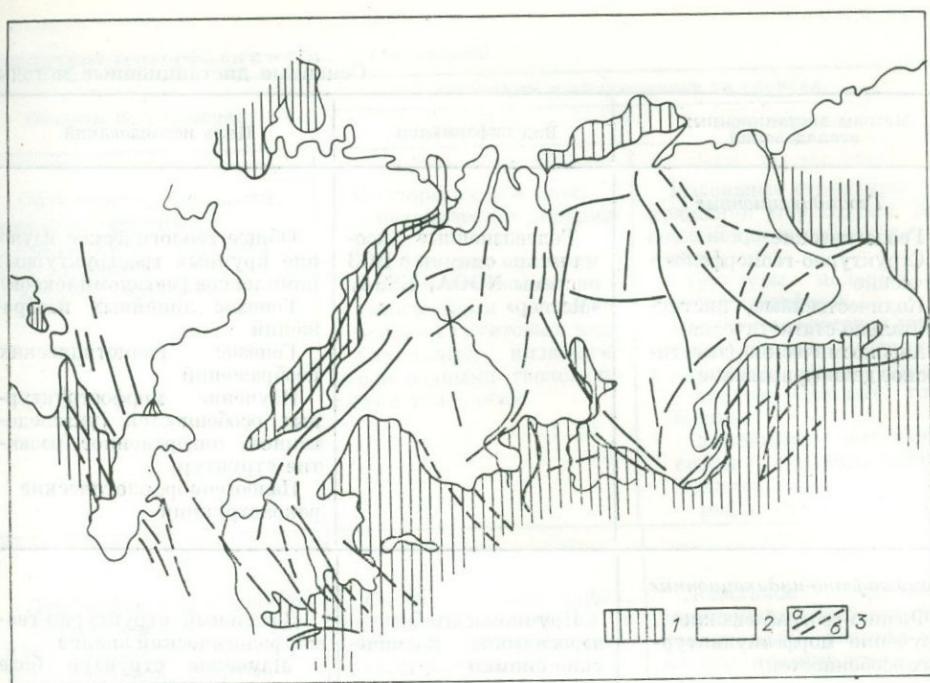


Рис. 3. Схема (упрощенная) основных глубинных разломов в пределах платформенных областей СССР [по Розанову, 1982].

1 — орогены — щиты, складчатые системы; 2 — платформы; 3 — глубинные разломы и их активизация в новейший тектонический этап (а — активные, б — неактивные).

верхности наивысший. Нагрузка вышележащих отложений как бы уменьшается, в результате чего происходит интенсивное образование трещиноватости горных пород, увеличивается общая проницаемость земной коры [Розанов, 1982]. Создаются благоприятные условия для интенсивной миграции и циркуляции флюидов, что способствует более интенсивному увлажнению.

Таким образом, колебание плотности фототона, отражающее степень сложности строения земной поверхности, служит индикатором тектонических элементов на космоснимках [Розанов, 1982, 1983]. Поэтому многие исследователи считают, что на космических снимках отображается не постоянное (спокойное) статическое состояние тектонической структуры земной коры, отраженное в специфике ландшафтов, а проявление новейшей и современной динамики тектонических движений. Такой подход к дешифрированию космоснимков, к их интерпретации принято называть геодинамическим подходом, основанным на признании ведущей роли новейшей и современной динамики литосферы. Дистанционные исследования должны сопровождаться целым комплексом дополнительных структурно-геоморфологических, морфометрических построений, с помощью которых можно определить интенсивность эрозийного расчленения, дать объективную количественную характеристику эндогенных процессов, выявить районы наивысших динамических напряжений, способствующих возникновению районов повышенной трещиноватости, наиболее благоприятных для миграции углеводородов и концентрации руд.

Большое значение имеют определение амплитуды новейших тектонических движений, восстановление палеогеоморфологических условий структурного плана до этапа их активизации. Дешифрирование аэроснимков, телевизионных космоснимков, как и снимков, полученных с пилотируемых космических аппаратов, требует своеобразных подходов. В зависимости от масштабов фотоинформации и задач, поставленных перед исследователями, для изучения новейших тектонических движений выделяют две группы методов дистанционных исследований: геоиндикационных и ландшафтно-индикационных (табл. 2).

Основные дистанционные методы

Методы дистанционных исследований	Вид информации	Цель исследований
<p><i>Геоиндикационные</i></p> <p>Геологические Структурно-геоморфологические Количественные, инструментально-статистические Аэрокосмические (тематическое дешифрирование)</p>	<p>Телевизионные космические снимки с ИСЗ системы NOAA, ESSA, «Метеор»</p>	<p>Общее геологическое изучение крупных геоструктурных комплексов (мегакомплексов) Генезис линейных изображений Генезис изометрических изображений Изучение морфоструктурных особенностей (унаследованное, инверсионное развитие структур) Палеогеоморфологические реконструкции</p>
<p><i>Ландшафтно-индикационные</i></p> <p>Физико-географические (изучение морфоскульптурных особенностей)</p>	<p>Крупномасштабные аэроснимки, космические снимки</p>	<p>Детальный структурно-геоморфологический анализ Изучение структур более низких порядков Изучение морфоскульптурных особенностей, влияния современных и древних экзогенных процессов Палеоморфоскульптурный анализ</p>

Геоиндикационные методы включают геологические, структурно-геоморфологические, количественные, инструментально-статистические и аэрокосмические, связанные с тематическим дешифрированием. Геоиндикационные исследования наиболее эффективны при дешифрировании мелкомасштабных телевизионных снимков, полученных с искусственных спутников земли систем NOAA, ESSA, «Метеор». Эта информация наиболее широко применяется при общем геологическом изучении крупных геоструктурных комплексов — мегакомплексов, генезиса линейных и изометрических изображений структур, морфоструктурных особенностей и при палеогеоморфологических реконструкциях.

Для решения поставленных задач геоиндикационные признаки могут быть использованы при изучении оптических плотностей, изменения фототона, сопряжения структурных элементов, рисунка гидросети на снимках. Все эти признаки помогают выявить различные типы линейных и изометрических структур.

Линейные изображения отражают механические деформации, экзогенные процессы, геотермическое и геохимическое влияние грунтовых вод, глубинные процессы, вызванные неоднородными геологическими условиями, структурные особенности земной коры; изометрические — различные типы структур молодых и древних платформ, переходных зон сочленения платформ и орогенных (эпи-платформенных, эпигеосинклинальных) областей. Особое внимание заслуживают внутриконтинентальные рифтогенные структуры.

Ландшафтно-индикационные исследования применяются для изучения внутриландшафтных связей между рельефом, почвами, растительностью — надежными индикаторами отражения геологических структур и их изменения в результате новейших тектонических движений. При структурно-геоморфологическом дешифрировании, особенно в переходных зонах, устанавливаются корреляционные связи между конфигураци-

структурно-геоморфологических исследований

Объекты исследований	Структуры и их отражение на снимках	
	линейные	изометрические
<p>Оптические плотности, изменение фототона Сопряжение структурных элементов Рисунок гидросети</p>	<p>Факторы воздействия; механические деформации экзогенные процессы с геотермическими, геохимическими особенностями грунтовых вод Глубинные, вызванные неоднородными геологическими условиями</p>	<p>Массивные структуры сопряжения переходных зон сочленения платформ и орогенов Структуры молодых и древних платформ Структуры орогенов (эпи-платформенные, эпигеосинклинальные, рифтогенные): сводово-блоковые, глыбовые линейные, вытянутые своды крутонаклонных поднятий рифтогенные</p>
<p>Ландшафтные особенности Формирование рельефа с учетом литологии подстилающих пород, широтной и вертикальной климатической зональности</p>	<p>Смена растительных, почвенных ассоциаций, с учетом природно-климатической зональности Спрявленные элементы рельефа</p>	<p>Локальное развитие структурных особенностей, реликтовых бассейнов — впадин, древних долин, грабенов</p>

ей видимых элементов ландшафта и геологическими структурами, глубинным строением земной коры. С этой целью проводится как геологическая, так и ландшафтная интерпретация выделенных линеаментов и контуров на снимках. Основные задачи дешифрирования при ландшафтном подходе — изучение оптического отражения ландшафтных особенностей на космических снимках различных уровней генерализации, выявление ландшафтных индикаторов геологических структур.

При этом наиболее информативны крупномасштабные аэро- и космоснимки, а снимки, полученные с ИСЗ системы «Метеор», лучше использовать для общих (глобальных) геологических исследований, так как на них более отчетливо выступают крупные геоструктурные комплексы. Кроме того, на мелкомасштабных телевизионных снимках систем «Метеор», NOAA, ESSA рельеф земной поверхности почти не отражается, поэтому ландшафтные индикаторы здесь менее информативны.

Таким образом, дистанционные исследования активизации новейших тектонических движений имеют большое значение для изучения развития ландшафтов, формирования структурного плана. Дополнительный фактический материал, полученный при дешифрировании космических снимков, помогает установить сложные условия активизации новейших тектонических движений на юге Сибири, которые свидетельствуют о продолжающихся в Центральной Азии внутриконтинентальных рифтоформирующих тектонических процессах.

ЛИТЕРАТУРА

- Богачкин Б. М. История тектонического развития Горного Алтая в кайнозое. — М.: Наука, 1981. — 131 с.
- Борисов Б. А., Минина Е. А. Количественная оценка новейших тектонических движений Алтае-Саянской горной области. — В кн.: Проблемы неотектоники и современной динамики литосферы. Т. II. Таллин, 1982, с. 26—27.

- Варламов И. П.** Результаты изучения новейшей тектоники Сибири и оценка перспектив ее нефтегазоносности по неотектоническим параметрам.— В кн.: Региональная неотектоника Сибири. Новосибирск: Наука, 1983, с. 78—87.
- Генералов П. П.** Этапы и импульсы неотектогенеза Западной Сибири.— В кн.: Геология антропогена севера Западной Сибири. Тюмень: изд. ЗапСибНИГНИ, 1982, с. 34—49.
- Генералов П. П.** Основные черты неотектоники Западно-Сибирской плиты.— В кн.: Региональная неотектоника Сибири. Новосибирск: Наука, 1983, с. 87—97.
- Геология Монгольской Народной Республики.** (Труды совместной Советско-Монгольской научной исследовательской геологической экспедиции, вып. 28).— М.: Наука, 1982.— 255 с.
- Золотарев А. Г.** Рельеф и новейшая структура Байкало-Патомского нагорья.— Новосибирск: Наука, 1974.
- Золотарев А. Г.** Проблема неотектонических вертикальных движений континентальных равнин в связи с изменением уровня Мирового океана.— В кн.: Неотектоника и современная динамика литосферы. Т. I. Таллин, 1982, с. 112—113.
- Золотарев А. Г.** К методике составления неотектонических карт.— Геоморфология, 1983, № 3, с. 41—47.
- Золотарев А. Г., Белоусов В. М.** Неотектоническое районирование юга Восточной Сибири.— В кн.: Региональная неотектоника Сибири. Новосибирск: Наука, 1983, с. 5—15.
- Зятькова Л. К.** Структурная геоморфология Алтае-Саянской горной области.— Новосибирск: Наука, 1977.— 243 с.
- Зятькова Л. К.** Структурная геоморфология Западной Сибири.— Новосибирск: Наука, 1979.— 179 с.
- Зятькова Л. К.** Методы структурно-геоморфологических исследований современных тектонических движений с использованием аэрокосмических материалов.— В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 90—94.
- Карта новейшей тектоники нефтегазоносных областей Сибири/М-б 1 : 2 500 000.** Под ред. Н. А. Флоренсова, И. П. Варламова.— М., 1978.
- Карта глубинного строения земной коры территории СССР и некоторых прилегающих акваторий.** М-б 1 : 10 000 000. Объяснительная записка/Отв. ред. Ю. П. Сытин.— Л.: изд. ВСЕГЕИ, 1981.— 39 с.
- Карта новейшей тектоники юга Восточной Сибири.** М-б 1 : 1 500 000. Объяснительная записка/Отв. ред. А. Г. Золотарев, П. М. Хренов.— Иркутск, 1981.— 112 с.
- Карта новейшей тектоники юга Азии и сопредельных областей.** М-б 1 : 5 000 000/Под ред. Н. И. Николаева, А. А. Наймарк, В. А. Селлванова. М., 1981.
- Коржув В. С.** Неотектоника и современная динамика литосферы Монголии.— В кн.: Проблемы неотектоники и современной динамики литосферы. Т. II. Таллин, 1982, с. 40—41.
- Леви К. Г.** Новейшие движения земной коры в Байкальской рифтовой зоне. Автореф. канд. дис.— Новосибирск, 1981.— 33 с.
- Леви К. Г., Шерман С. И.** Карта неотектоники горного обрамления юга Восточной Сибири.— В кн.: Региональная тектоника Сибири. Новосибирск: Наука, 1983, с. 39—44.
- Логачев Н. А., Зорин Ю. А., Рогожина В. А.** Кайнозойская динамика литосферы Центральной Азии.— В кн.: Проблемы неотектоники и современной динамики литосферы. Т. II. Таллин, 1982, с. 48—49.
- Макаров В. И.** Линеаменты (проблемы и направления исследований с помощью аэрокосмических срезов и методов).— Исследование Земли из космоса, 1981, № 4, с. 109—115.
- Николаев Н. И.** Импульсные тектонические движения и их рельефообразующая роль.— Геоморфология, 1975, № 3, с. 16—29.
- Николаев Н. И.** Неотектоника юга Азии (объяснительная записка и карта новейшей тектоники юга Азии и сопредельных областей). М-б 1 : 5 000 000.— М., 1981.— 110 с.
- Николаев Н. И.** Особенности неотектоники Евразии и их значение для понимания палеогеографии и геологии антропогена.— Геоморфология, 1982, № 2, с. 3—13.
- Николаев Н. И.** Вопросы глобальной неотектоники и геодинамики литосферы в связи с научно-технической революцией в геологии.— Изв. вузов: Геология и разведка, 1984, № 8, с. 6—17.
- Оболенская Р. В.** Мезозойский магматизм Алтае-Саянской складчатой области.— Новосибирск: изд. ИГиГ СО АН СССР, 1983.— 46 с.
- Осадчий С. С.** Некоторые проблемы неотектоники.— В кн.: Проблемы неотектоники и современной динамики литосферы. Т. II. Таллин, 1982, с. 70—72.
- Розанов Л. Н.** Отражение динамики новейших тектонических движений литосферы на снимках из космоса.— В кн.: Неотектоника и современная динамика литосферы. Т. I. Таллин, 1982, с. 161—162.
- Розанов Л. Н.** Основы структурно-геоморфологического дешифрирования космических снимков равнинных платформенных областей.— Обзор ВИЭМС. Общая и региональная геология, геологическое картирование. М., 1983.— 26 с.
- Трифонов В. Г., Макаров В. И., Флоренский П. В.** Изучение глубинного строения ли-

тоферы с помощью комплекса космических снимков.— В кн.: Четвертичная геология и геоморфология. М.: Наука, 1980, с. 115—122.

Флоренсов Н. А. Новый вариант карты новейшей тектоники южной части Восточной Сибири.— Геотектоника, 1984, № 5, с. 110—112.

Шерман С. И. Новые подходы к неотектоническому картографированию.— Геоморфология, 1983, № 4, с. 105—107.

Я. М. ГРИЦЮК

НОВЕЙШАЯ ТЕКТНИКА И ГЕОДИНАМИКА ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ГОРНО-СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

Аэрокосмическая партия ПГО «Запсибгеология» завершила региональные космофотогеологические и морфотектонические исследования, программа и методические особенности которых рассмотрены ранее [Грицюк, 1978, 1979]. В числе решаемых задач изучены особенности деформаций исходной мел-палеогеновой поверхности выравнивания в ходе формирования современного рельефа. Особое внимание при этом уделено выявлению признаков горизонтальных движений; аэровизуальными наблюдениями изучены тенденции современных вертикальных движений отдельных блоков.

Исходные теоретические предпосылки. Структурное дешифрирование космических снимков сопровождалось картированием деформаций вершинного гипсометрического поля современного рельефа с использованием мозаичного анализа тренда на ЭВМ. Ведущим типом деформаций исходной поверхности выравнивания консолидированных молодых платформ в ходе формирования современного рельефа является образование сводообразных изгибов вследствие воздымания обширных площадей. Пространственно связанные с ними отрицательные структурные формы (депрессии) имеют подчиненное значение, они только осложняют внутреннюю структуру сводов и отделяют их друг от друга. Воздымание сводов путем изгиба консолидированной литосферы сопровождалось разрывными дислокациями преимущественно вдоль зон древних разломов. Конфигурация сводов не обнаруживает черт конформности, но блоковая тектоника более высокого порядка наследует древний структурный план и способствует его экспонированию в современном рельефе. Таким образом, дискуссия о доминанте изгибов поверхности земной коры или ее разрывов при формировании сводово-блоковых структурных форм [Боголепов, 1967], видимо, будет решена в пользу «первичности» изгибов при пассивной роли разломов, обеспечивающих дифференцированные вертикальные движения блоков и их перекосы в ходе воздымания сводов в силу различной компетентности и плотности слагающих их пород.

При интерпретации результатов обработки вершинного гипсометрического поля исполнители с учетом представлений, изложенных В. А. Баландиным [1980], исходили из предположения, что низкочастотные составляющие деформаций вершинной поверхности обусловлены взаимодействием гравитационных центростремительных и центробежных сил, генерируемых тепловой энергией недр. Высокочастотные компоненты поля обусловлены тектоническими факторами, которые проявлялись на различных уровнях разреза земной коры и, в отличие от предыдущих, сопровождалась разрывами сплошности гипсометрического поля. Еще более локальные деформации вызваны магматогенными факторами, которые на локальном участке усиливают действие гравитационного и тектонического факторов, что подтверждается, в частности, общеизвестной приуроченностью низких значений гравитационного поля и наиболее интенсивных новейших тектонических поднятий к зонам гранитизации. И наконец, самые высокочастотные флюктуации вершинного гипсометрического поля

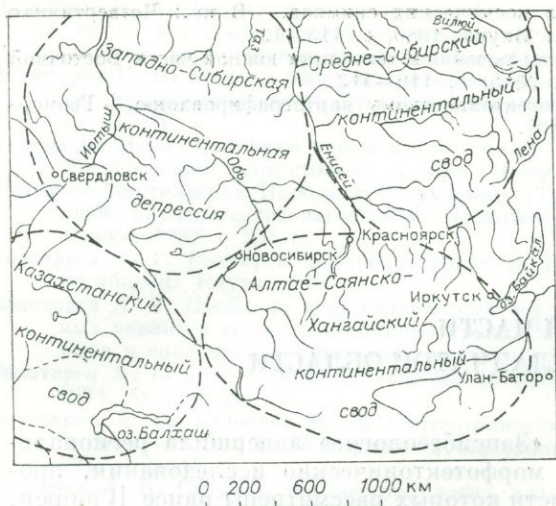


Рис. 1. Положение структурных форм континентального ранга в северо-западной части Азиатского континента.

обусловлены воздействием поверхностной денудации, которая вследствие различной устойчивости горных пород усиливает отражение в современном рельефе тектонических форм, созданных предшествующими факторами, но в силу влияния климатической зональности обнаруживает известную самостоятельность.

На основании предположения о дискретности размеров выраженных в современном рельефе тектонических структур предложена их условная группировка:

Положительные структуры

Отрицательные структуры

Континентальные своды

Континентальные депрессии

Мегасводы

Мегадепрессии

Поднятые блоки
нескольких порядков

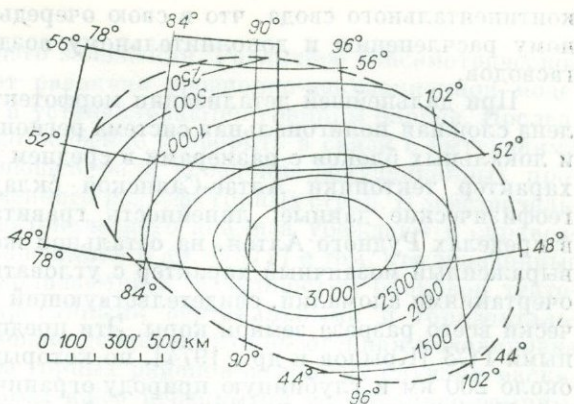
Опущенные блоки
нескольких порядков

Квазистабильные блоки нескольких порядков

Новейшая сводово-блоковая тектоника. Исследованная площадь занимает северо-западную часть Алтае-Саянско-Хангайского континентального свода, охватывающего районы Алтае-Саянской горно-складчатой области, Монгольский Алтай и Хангайское нагорье Западной Монголии. Его размеры (1900×1200 км) примерно соответствуют размерам Средне-Сибирского и Казахстанского континентальных сводов, окружающих Западно-Сибирскую континентальную депрессию аналогичной величины (рис. 1). В центре Алтае-Саянско-Хангайского свода расположена Котловина Больших Озер, Казахстанского — Тенгизская впадина. В центре Средне-Сибирского свода в районе пос. Тура в среднем течении Нижней Тунгуски по сейсмическим данным установлено единственное в своем роде аномальное соотношение рельефа фундамента и подошвы земной коры, не получившее пока однозначного истолкования [Кузнецов и др., 1981]. В промежутках между перечисленными континентальными структурами вписаны структурные формы, в плане напоминающие гипоциклоиды, которым соответствуют Кулундинская и Тегульдетская впадины.

Морфология вершинного гипсометрического поля в пределах Алтае-Саянско-Хангайского континентального свода свидетельствует о его четко выраженном положительном поперечном профиле на фоне общего наклона в северо-западном направлении (рис. 2). Изогипсой 300 м оконтурена ядерная часть свода, охватывающая Котловину Больших Озер Западной Монголии — замкнутую бессточную впадину. Алтае-Саянскую горно-складчатую область следует рассматривать как советскую часть Алтае-Саянско-Хангайского континентального свода, обособленного, согласно К. В. Боголепову [1967], в юре и воздымающегося по настоящее время как одно из противоподнятий, окружающих Западно-Сибирскую континентальную депрессию. Геофизическими исследованиями установлено, что под рассматриваемым континентальным сводом в интервале глубин 100—400 км верхняя мантия характеризуется аномально низкими скоростями сейсмических волн, свойственными мантийным астенолитам [Винник, 1976]; в его центральной части наблюдается овальная область

Рис. 2. Вершинная поверхность Алтае-Саянско-Хангайского континентального свода, аппроксимированная алгебраическим полиномом второго порядка. Выделены контуры исследованной площади (см. рис. 4).



погружения подошвы земной коры до глубин 45—50 км.

Если контуры континентального свода в значительной степени условны и в поверхностных характеристиках рельефа и геофизических полях отражаются относительно широкими градиентными зонами, то элементы сводово-блоковой тектоники следующего ранга — мегасводы — оконтуриваются в его пределах однозначно и их границы совпадают с достаточно четкими линейными уступами гипсометрического и гравитационного полей. В пределах Алтае-Саянско-Хангайского континентального свода закартировано положение девяти мегасводов, занимающих секториальные блоки, опоясывающие Центральную мегадепрессию. Важно отметить неотектоническую природу подавляющего большинства линейных элементов каркаса континентального свода. Только на отдельных участках они совпадают с активизированными отрезками древних разломов, в целом же границы Центральной мегадепрессии и мегасводов образуют независимую от древнего структурного плана сеть.

Вершинная поверхность мегасводов имеет пологую куполообразную форму. Склоны мегасводов, обращенные к внешнему контуру континентального свода, обычно пологие, а ядерные части сводов смещены к Центральной мегадепрессии (рис. 3). Предполагается, что она образовалась в результате гравитационного проседания ядерной (центральной) части

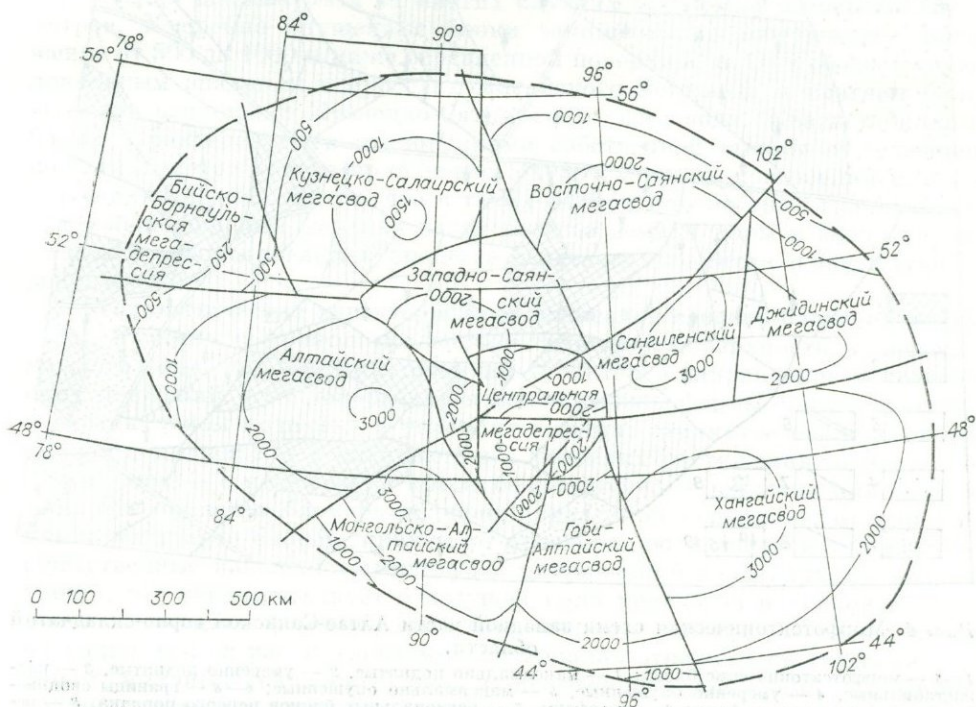


Рис. 3. Схема деформаций вершинной поверхности в пределах Алтае-Саянско-Хангайского континентального свода.

континентального свода, что в свою очередь способствовало его радиальному расчленению и дополнительному воздыманию окружающих ее мегасводов.

При дальнейшей детализации морфотектонического анализа установлена сложная полигональная система региональных блоков двух порядков и локальных блоков с размерами в среднем 200, 70 и 25 км. На блоковый характер тектоники Алтае-Саянской складчатой области указывают и геофизические данные: линейность гравитационного поля установлена в пределах Рудного Алтая, на остальной же территории оно имеет четко выраженный мозаичный характер с угловатыми, овальными и округлыми очертаниями аномалий, свидетельствующий о блоковой структуре практически всего разреза земной коры. Эти предположения подтверждены данными ГСЗ [Крылов и др., 1974], по которым определены размеры блоков около 200 км и глубинную природу ограничивающих их разломов.

На итоговой морфотектонической карте масштаба 1 : 500 000 показаны блоки трех порядков, в пределах которых складчатые деформации вершинной поверхности отражены изогипсами. Ее существенно упрощенный вариант приведен на рис. 4. Тектонические блоки выкраены по сети раз-

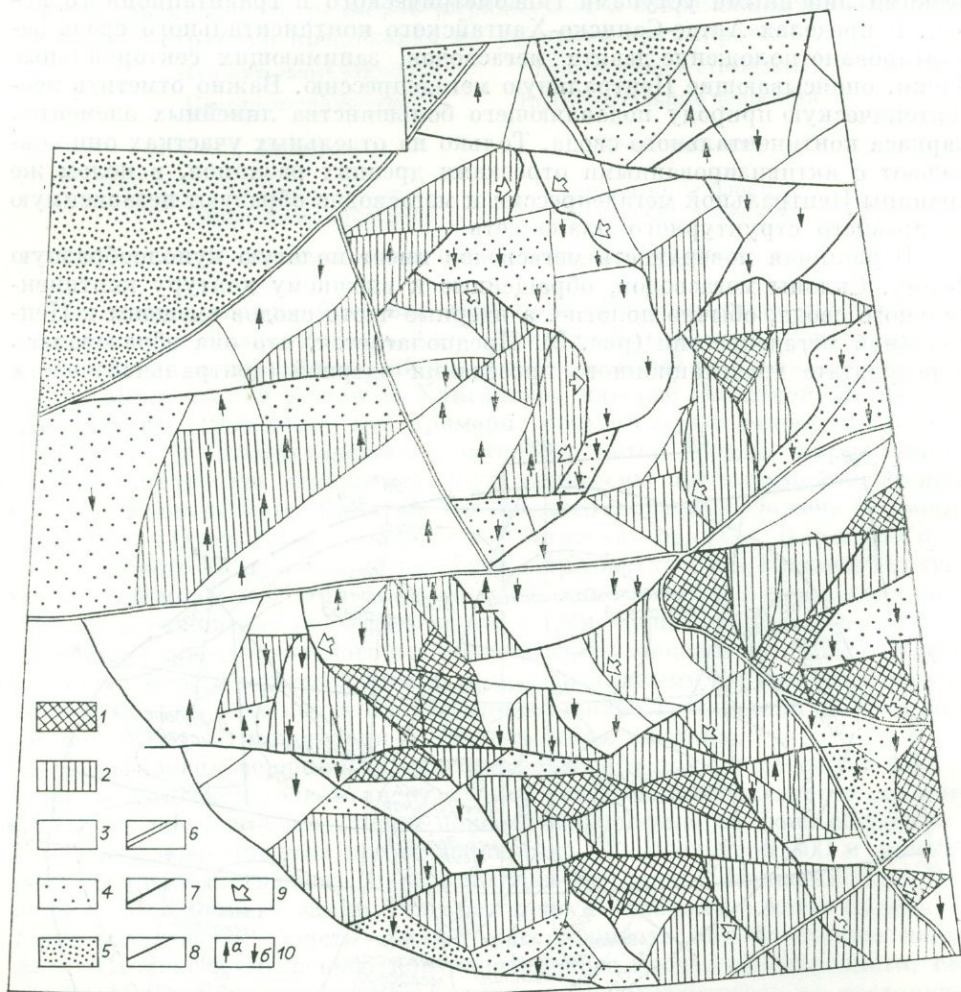


Рис. 4. Морфотектоническая схема западной части Алтае-Саянской горно-складчатой области.

1—5 — морфотектонические блоки: 1 — максимально поднятые, 2 — умеренно поднятые, 3 — квазистабильные, 4 — умеренно опущенные, 5 — максимально опущенные; 6—8 — границы сводово-блоковых структурных форм: 6 — мегаформ, 7 — региональных блоков первого порядка, 8 — региональных блоков второго порядка; 9, 10 — геодинамические характеристики: 9 — направление горизонтального сдвига, 10 — участки блоков, испытывающие новейшие поднятия (а) или опускания (б).

ломов преимущественно древнего заложения. Различное гипсометрическое положение блоков определяет различия эрозионно-денудационной моделировки рельефа, по которой и устанавливаются границы блоков. Последнее обстоятельство необходимо особенно оговорить в связи с бытующими представлениями об определяющей роли эрозионно-денудационных процессов в формировании современного рельефа горных стран. В действительности же результаты морфотектонического анализа убеждают в справедливости утверждения Н. В. Башениной и др. [1971] о том, что эрозионные процессы, наоборот, приспосабливаются к особенностям блоковой тектоники, созданной дифференцированными вертикальными и горизонтальными движениями. К этому можно добавить, что экзогенная моделировка сложнорасчлененного рельефа горных районов во многих случаях маскирует блокоразделяющие разломы из-за перекрытий их обвально-осыпными и пролювиально-делювиальными образованиями. Форма блоков преимущественно ромбовидная, поскольку преобладают их ограничения по диагональной системе разломов древнего заложения. В меньшей степени в ограничении блоков участвуют разломы широтного направления и еще реже — других направлений. Разломы обеспечивали подвижное сочленение смежных блоков, предоставляя им возможность двигаться автономно.

По гипсометрическому положению относительно вершинной поверхности, осредненной в пределах мегасводов и мегадепрессий, выделено пять классов тектонических блоков: максимально и умеренно поднятые, максимально и умеренно опущенные, а также квазистабильные. Максимально поднятые блоки возвышаются над усредненным уровнем вершинного гипсометрического поля на 1000 м и более и в большинстве случаев соответствуют самым высоким участкам высокогорных хребтов. Умеренно поднятые блоки характеризуются превышением над усредненным уровнем гипсометрического поля в пределах 500—1000 м. Пространственно группы таких блоков окружают максимально поднятые блоки. Максимально опущенные блоки погружены относительно осредненной гипсометрической поверхности на 1000 м и более. С учетом компенсирующей аккумуляции величина погружения должна быть во многих случаях увеличена на первые сотни метров. Умеренно опущенные блоки занимают гипсометрическое положение от 500 до 1000 м ниже осредненной поверхности. Они соответствуют локальным впадинам в пределах Алтайского мегасвода и слагают большую часть площади Кузнецко-Салаирского мегасвода. Квазистабильные блоки характеризуются отклонениями собственной высоты от осредненного гипсометрического поля менее 500 м в сторону повышения или понижения. Предполагается, что в таких блоках плотностные гравитационные неоднородности верхней части разреза земной коры в значительной степени компенсированы в процессе сводового поднятия и последующей денудации.

Геодинамические характеристики элементов сводово-блоковой тектоники. Уровень и морфология гипсометрической поверхности в пределах каждого блока служат указанием на характер и направление тектонических движений: куполообразная и валообразная формы свидетельствуют о вертикальном поднятии в условиях сжатия, замкнутое овальное и линейное понижение — о погружении в условиях растяжения, односторонний наклон — о перекосе на крыле более крупного поднятия или опускания. Большинство блокоразделяющих разломов ограничивают одновременно несколько блоков, причем по простиранию их нередко происходят существенные изменения амплитуд и направлений вертикальных перемещений, что свидетельствует о ведущей роли перекосов исходной поверхности в процессе формирования современного рельефа. В то же время очевидно, что на рассматриваемых материалах отражена статическая картина суммарных движений блоков за неотектоническое время, по которой трудно судить о тенденциях современных тектонических движений. Можно только предполагать сохранение таких тенденций в новейшее время, однако специальные наблюдения за динамикой эрозионных процессов,

учет данных повторного нивелирования свидетельствуют о том, что такое предположение слишком упрощенно.

Динамика современных эрозионных процессов изучалась в процессе аэровизуальных наблюдений. Установлено, что блоки, испытывающие в новейшее время воздымание, характеризуются оживлением эрозионных процессов. Это особенно хорошо заметно в предгорьях Алтая, где в пределах таких блоков плоские водоразделы возделаны, а эрозионная сеть глубоко врезана и обычно занята древесно-кустарниковой растительностью, что позволяет легко фиксировать такие площади при дешифрировании аэрокосмофотоматериалов. На равнинах в пределах воздымающихся блоков интенсивно развиты овраги.

Локальные блоки, испытывающие в новейшее время погружение, естественно, обладают противоположными тенденциями в развитии эрозионных процессов: русла водотоков сложно меандрируют в широких, обычно заболоченных долинах, сельскохозяйственными угодьями заняты полого вогнутые склоны, а морфологически наиболее четко выражены гребни водоразделов, где зачастую обнажаются коренные породы. Типичным геоморфологическим элементом тектонических блоков, испытывающих новейшее погружение, являются так называемые «островные горы», возвышающиеся среди плоских равнин. Они сложены устойчивыми породами; на их склонах, даже достаточно крутых, не фиксируется развитие эрозионных процессов, у подножий отсутствуют делювиально-пролювиальные образования. Наиболее характерными участками развития островных гор являются массив г. Бабырган в северной части Горного Алтая, южная часть Салаирского кряжа, большинство высокогорных впадин Горного Алтая.

Значительно сложнее фиксируются на изображениях современного рельефа горизонтальные движения. А. В. Орлова [1975], в частности, утверждает: «Как бы ни были сложны отдельные формы тектонического рельефа, они обязаны двум формам движения — подъему и опусканию» (с. 3). Это, конечно, крайний взгляд, большинство исследователей все же считают основными формами рельефообразующих движений изгиб и перекося. Сдвиговые перемещения вдоль границ блоков хорошо фиксируются на космических снимках. Следует отметить, что сама форма Алтай-Саянско-Хангайского свода, образующего вытянутый в северо-западном направлении овал со смещенной к юго-западу ядерной частью, свидетельствует об участии в его образовании горизонтальных сжимающих усилий, направленных с северо-востока на юго-запад. Это подтверждается более интенсивной деформацией вершинного гипсометрического поля во фронтальном юго-западном секторе свода (см. рис. 2, 3). На сохранение этих тенденций в новейшее время указывают северо-восточная ориентировка напряжений в очагах землетрясений [Цибульчик, 1975] и преобладание северо-западных простираний молодых взбросо-надвиговых сочленений тектонических структур на исследованной площади.

Вершинная поверхность в пределах многих блоков отличается четко выраженной асимметрией, когда она наиболее приподнята во фронтальных юго-западных частях и плавно погружается в северо-восточном направлении. Перед фронтальными частями прилегающие блоки также обычно характеризуются асимметричными прогибами вершинной поверхности, что на ряде площадей ведет к формированию чешуйчатых систем надвинутых друг на друга блоков, в каждом из которых резко приподнята фронтальная юго-западная часть и полого погружается тыловая северо-восточная. Во фронтальных частях обычно обнажены наиболее древние, глубоко метаморфизованные в условиях сжатия, породы. На рис. 4 взбросо-надвиговые сочленения блоков показаны особым знаком.

Достаточно объективные данные, свидетельствующие об активной роли горизонтальных движений в формировании современного рельефа, получены в результате сопоставления морфотектонических и гравиметрических данных. Для большинства случаев предполагаемого взбросо-надвигового сочленения блоков в условиях сжатия наблюдаются отклонения от изостазии, когда относительно поднятым блокам соответствуют поло-

жительные аномалии гравитационного поля. На отдельных участках имеются прямые данные о наличии неотектонических надвиговых движений. По-видимому, и в других случаях для объяснения наблюдаемых отклонений от изостазии следует в первую очередь анализировать возможность проявления горизонтальных рельефообразующих движений.

Вполне очевидна необходимость учета установленных особенностей сводово-блоковой тектоники при сейсмическом районировании. Легко убедиться в том, что узлы максимальной сейсмической активности приурочены к тектоническим узлам, где приведены в соприкосновение максимально поднятые и максимально опущенные блоки. В пределах исследованной площади такие узлы сосредоточены в северо-западном обрамлении Котловины Больших Озер, где действительно зафиксирована максимальная сейсмическая активность [Чернов, Зеленков, 1978].

ЛИТЕРАТУРА

- Баландин В. А. Моделирование как метод структурно-геоморфологического анализа.— В кн.: Кайнозой Восточной Якутии. Якутск, 1980, с. 150—158.
- Башенникова Н. В., Мирнова А. В., Пиотровский М. В. и др. О геоморфологическом картировании горного рельефа с блоковой структурой.— Вестн. МГУ. Сер. 5. География, 1971, № 6, с. 18—26.
- Боголюбов К. В. Мезозойская тектоника Сибири.— М.: Наука, 1967.— 328 с.
- Винник Л. П. Исследования мантии Земли сейсмическими методами.— М.: Наука, 1976.— 123 с.
- Грицюк Я. М. Опыт региональных структурно-тектонических исследований на основе дешифрирования космических снимков и статистической обработки характеристик рельефа (на примере Алтае-Саянской складчатой области).— Экспресс-информация ВИЭМС. Общая и региональная геология; геологическое картирование, 1978, вып. 12, с. 1—22.
- Грицюк Я. М. Сводово-блоковая морфотектоника западной части Алтае-Саянской горной области по данным геологического дешифрирования космических снимков.— В кн.: Аэрокосмические исследования природных ресурсов Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: изд. ИГиГ СО АН СССР, 1979, с. 57—72.
- Крылов С. В., Суворов В. Д., Рудницкий А. Л. Блоковая структура земной коры Западной Сибири.— В кн.: Строение земной коры в Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1974, с. 42—57.
- Кузнецов В. Л., Сальников А. С., Титаренко В. В. Новые сейсмические данные о земной коре территории Тунгусской синеклизы.— В кн.: Результаты геолого-геофизических исследований Сибири. Новосибирск: изд. СНИИГГиМС, 1981, с. 42—48.
- Орлова А. В. Блоковые структуры и рельеф.— М.: Недра, 1975.— 322 с.
- Цибульчик И. Д. Некоторые результаты исследования напряженного состояния в очагах землетрясений Алтая и Саян.— В кн.: Сейсмичность Алтае-Саянской области. Новосибирск: Наука, 1975, с. 48—56.
- Чернов Г. А., Зеленков П. Я. Сейсмогеология области Западно-Тувинских поднятий.— В кн.: Сейсмология восточной части Алтае-Саянской горной области. Новосибирск: изд. ИГиГ СО АН СССР, 1978, с. 58—68.

И. П. ВАРЛАМОВ, Н. Е. НАЙДЕНОВА,
И. С. НОВОСЕЛЬЦЕВ, А. П. ХИЛЬКО

НОВЕЙШАЯ ТЕКТОНИКА (С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕРИАЛОВ ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМОСНИМКОВ) И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

В статье приводятся материалы мелко- и среднемасштабных неотектонических исследований, выполненных авторами в 1976—1983 гг. Эти исследования включали значительный объем полевых работ, качественный и количественный анализ рельефа. В условиях денудационного и эрозивно-аккумулятивного рельефа Непско-Ботубинской антеклизы для

определения суммарных амплитуд неотектонических движений и характера дифференцированности проявления последних особое внимание уделялось закономерностям деформаций основных геоморфологических уровней (поверхностей выравнивания и речных террас), их морфологическим, гипсометрическим и историко-генетическим параметрам.

Кроме геолого-геоморфологических данных, полученных авторами при изучении новейшей тектоники данного региона и влияния неотектонических показателей на его нефтегазоносность, использованы материалы дешифрирования космических снимков мелкого и среднего масштаба, которое выполнялось специалистами ПГО «Аэрогеология», «Красноярск-геология» и особенно в последние годы сотрудниками СНИИГГиМСа — Л. А. Кучай и А. А. Растегиним. Эти материалы помогли существенно уточнить роль разрывных тектонических нарушений в структуре Непско-Ботубинской антеклизы, степень их активизации в новейший этап. Примечательно, что большинство разрывных нарушений, ранее выделявшихся нами в процессе полевых исследований и анализа крупномасштабных топографических карт, а также при дешифрировании аэрофотоснимков, четко отражаются и на космоснимках. Данное обстоятельство позволяет с большей уверенностью выделять разломы и судить о характере их унаследованности в новейший этап.

Судя по материалам, полученным в результате дешифрирования космоснимков, локальные структуры платформенного чехла в Непско-Ботубинской антеклизе в большинстве случаев не отражаются на космоснимках. Лишь контуры Чонского, Пеледуйского и Среднеботубинского локальных поднятий, выделенных по нижним горизонтам кембрийских отложений, в общих чертах совпадают с округлыми (овальными) формами, выделяющимися при дешифрировании космоснимков. Структуры II порядка — Непский свод, Сьюльдюкарский и Мирнинский выступы — не находят отображения на космоснимках. Только центральные части их отличаются несколько повышенной плотностью линейных тектонических элементов.

Непско-Ботубинская антеклиза характеризуется сильной дифференциацией тектонических движений в новейший этап, не свойственной платформенным областям. Амплитуды неотектонических движений в ее пределах колеблются от 200—250 до 600—700 м. Она также отличается широким развитием разрывных тектонических нарушений, многие из которых являются унаследованными. Эти нарушения играют большую роль в новейшей структуре антеклизы. Наиболее крупные из них имеют северо-восточную и северо-западную ориентировку, некоторые — субмеридиональное простирание.

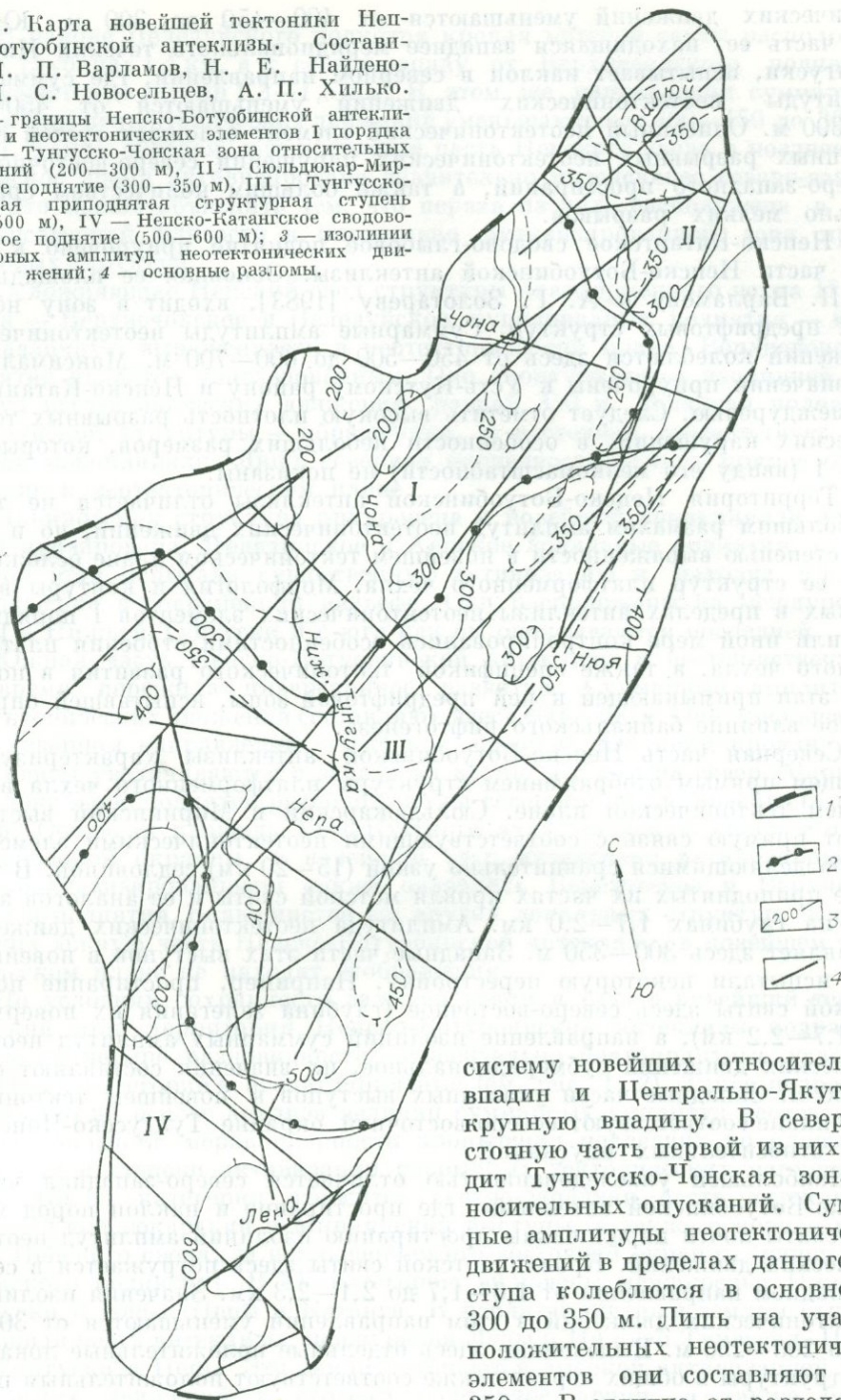
В недавно опубликованной работе [Варламов, Золотарев, 1983] территория Непско-Ботубинской антеклизы отнесена к Ангаро-Ленскому крупному валообразному поднятию. Юго-восточная его окраина входит в зону предрифтовых структур, а северо-западная часть соответствует Сьюльдюкар-Мирнинскому поднятию. Среднемасштабные неотектонические работы, проведенные авторами в последние годы, позволяют уточнить новейший тектонический план антеклизы. Как устанавливается, в ее пределах следует выделять четыре неотектонических элемента I порядка: Тунгусско-Чонскую зону относительных опусканий, Сьюльдюкар-Мирнинский крупный выступ, Тунгусско-Ньюскую приподнятую структурную ступень и Непско-Катангское сводово-глыбовое поднятие (рис. 1).

Тунгусско-Чонская зона относительных опусканий характеризуется суммарными амплитудами неотектонических движений, составляющими в основном около 250 м. В пределах отрицательных неотектонических элементов эти амплитуды равны 200 м, в пределах положительных — 300—325 м. Разрывные тектонические нарушения развиты здесь сравнительно слабо и выражены в современном рельефе нечетко.

Сьюльдюкар-Мирнинский крупный выступ разделяет два надпорядковых отрицательных неотектонических элемента — Канско-Чонскую

Рис. 1. Карта новейшей тектоники Непско-Ботуобинской антеклизы. Составили И. П. Варламов, Н. Е. Найденова, И. С. Новосельцев, А. П. Хилько.

1, 2 — границы Непско-Ботуобинской антеклизы (1) и неотектонических элементов I порядка (2); I — Тунгусско-Чонская зона относительных опусканий (200—300 м), II — Сольдюкар-Мирнинское поднятие (300—350 м), III — Тунгусско-Нюйская приподнятая структурная ступень (350—500 м), IV — Непско-Катангское сводоглыбовое поднятие (500—600 м); 3 — изолинии суммарных амплитуд неотектонических движений; 4 — основные разломы.



систему новейших относительных впадин и Центрально-Якутскую крупную впадину. В северо-восточную часть первой из них входит Тунгусско-Чонская зона относительных опусканий. Суммарные амплитуды неотектонических движений в пределах данного выступа колеблются в основном от 300 до 350 м. Лишь на участках положительных неотектонических элементов они составляют более 350 м. В отличие от разделяемых

отрицательных неотектонических элементов в выступе сравнительно широко развиты разрывные тектонические нарушения, выделяемые как по геолого-геофизическим, так и по геоморфологическим данным. Большинство крупных древних разломов здесь активизированы в новейший этап и четко выражены в рельефе.

Тунгусско-Нюйская приподнятая ступень обладает суммарными амплитудами новейших движений, достигающими 350—400 м. Отдельные участки ее, расположенные в междуречье Непы и Нижней Тунгуски, приподняты на 500 м. Северо-восточная часть ступени наклонена на запад-северо-запад; в этом направлении суммарные амплитуды неотек-

тонических движений уменьшаются от 400—450 до 300 м. Южная же часть ее, находящаяся западнее меридионального течения Нижней Тунгуски, испытывает наклон в северном направлении, где суммарные амплитуды неотектонических движений уменьшаются от 450—500 до 300 м. Описанный неотектонический элемент осложнен густой сетью крупных разрывных неотектонических нарушений северо-восточного и северо-западного простираний, а также большим количеством сравнительно мелких разрывов.

Непско-Катангское сводово-глыбовое поднятие приурочено к южной части Непско-Ботуобинской антеклизы. Основная ее площадь, по И. П. Варламову и А. Г. Золотареву [1983], входит в зону новейших предрифтовых структур. Суммарные амплитуды неотектонических движений колеблются здесь от 450—500 до 600—700 м. Максимальные их значения приурочены к Усть-Кутскому району и Непско-Катангскому междуречью. Следует отметить высокую плотность разрывных тектонических нарушений, в особенности небольших размеров, которые на рис. 1 (ввиду его мелкомасштабности) не показаны.

Территория Непско-Ботуобинской антеклизы отличается не только большим размахом амплитуд неотектонических движений, но и разной степенью выраженности в новейшем тектоническом плане осложняющих ее структур платформенного чехла. Морфология и контуры выделенных в пределах антеклизы неотектонических элементов I порядка в той или иной мере контролировались особенностями строения платформенного чехла, а также спецификой тектонического развития в новейший этап примыкающей к ней предрифтовой зоны, испытавшей определенное влияние байкальского рифтогенеза.

Северная часть Непско-Ботуобинской антеклизы характеризуется в общем прямым отображением структуры платформенного чехла в новейшем тектоническом плане. Слюдюкарский и Мирнинский выступы имеют прямую связь с соответствующими неотектоническими элементами, разделяющимися сравнительно узкой (15—20 км) седловиной. В наиболее приподнятых их частях кровля мотской свиты и ее аналогов залегает на глубинах 1,7—2,0 км. Амплитуда неотектонических движений составляет здесь 300—350 м. Западные части этих выступов в новейший этап испытали некоторую перестройку. Например, простирание пород мотской свиты здесь северо-восточное (глубина залегания их поверхности 1,7—2,2 км), а направление изолиний суммарных амплитуд неотектонических движений субмеридиональное, их значения составляют около 250 м. Западные части указанных выступов в новейшем тектоническом плане соответствуют северо-восточной окраине Тунгусско-Чонской зоны относительных опусканий.

Наибольшей унаследованностью отличается северо-западная часть Непско-Ботуобинской антеклизы, где простирание и наклон пород мотской свиты почти параллельны простиранию изолиний амплитуд неотектонических движений. Кровля мотской свиты здесь погружается в северо-западном направлении от 1,6—1,7 до 2,1—2,3 км. Значения изолиний неотектонических движений в этом направлении уменьшаются от 300—350 до 200—250 м. Выделенные здесь отдельные положительные локальные структуры в общих чертах также соответствуют положительным неотектоническим элементам.

Непский свод расположен в северной части новейшей Тунгусско-Нюйской приподнятой ступени. Восточная граница его в общих чертах является унаследованной, северо-западная оказалась несколько смещенной, значительная площадь свода вошла в Тунгусско-Чонскую зону относительных опусканий. Южная же граница свода, приуроченная к району нижнего течения Непы, не находит отображения в новейшей структуре. Несмотря на это, основную площадь Непского свода можно считать унаследованной. Свод имеет общий наклон в северо-западном направлении.

В районе Пеледуйского поднятия кровля мотской свиты расположена на глубинах 1,1 км, а к северо-западу от Верхнечонского поднятия погружается до глубин 1,3—1,5 км. В этом же направлении суммарные амплитуды неотектонических движений уменьшаются от 400—450 до 300—350 м. Таким образом, юго-восточная часть Непского свода в позднекайнозойское время активизирована значительно интенсивнее северо-западной. Это можно объяснить тем, что первая из них расположена в непосредственной близости к интенсивно активизированной зоне предрифтовых структур.

Осложняющие Непский свод структуры платформенного чехла II порядка — Верхнечонское и Пеледуйское куполовидные поднятия — имеют различную выраженность в неотектоническом плане. Верхнечонское поднятие является унаследованным. Оно оконтуривается изолинией амплитуд неотектонических движений, равной 350 м. Западная половина Пеледуйской структуры — обращенная, а восточная соответствует новейшей моноклинали. Лишь северная оконечность ее имеет прямое отображение в неотектоническом плане.

Даниловская структура приурочена к новейшей моноклинали и слабо активизирована. Ярактинское и Аянское локальные поднятия в новейший этап испытали существенную активизацию и находят прямое отображение в современном рельефе. Они расположены на междуречье Непы и Нижней Тунгуски и с юга как бы опоясываются последней.

Южная часть Непско-Ботубинской антеклизы в неоген-четвертичное время пережила инверсионное развитие. Суммарные амплитуды неотектонических движений составляют здесь 400—600 м. Они уменьшаются в северном направлении, тогда как значения изолиний кровли мотской свиты увеличиваются с запада на восток и с юга на север. Марковское локальное поднятие расположено на северном крыле новейшего поднятия. Основная площадь Усть-Кутского вала, за исключением его северо-западной окраины, в новейший этап интенсивно активизирована. Высокоактивизированными также оказались Березовское и Верхнекатангское поднятия. Большинство же других локальных структур, осложняющих южную часть Непско-Ботубинской антеклизы, в новейшем тектоническом плане не находят отображения.

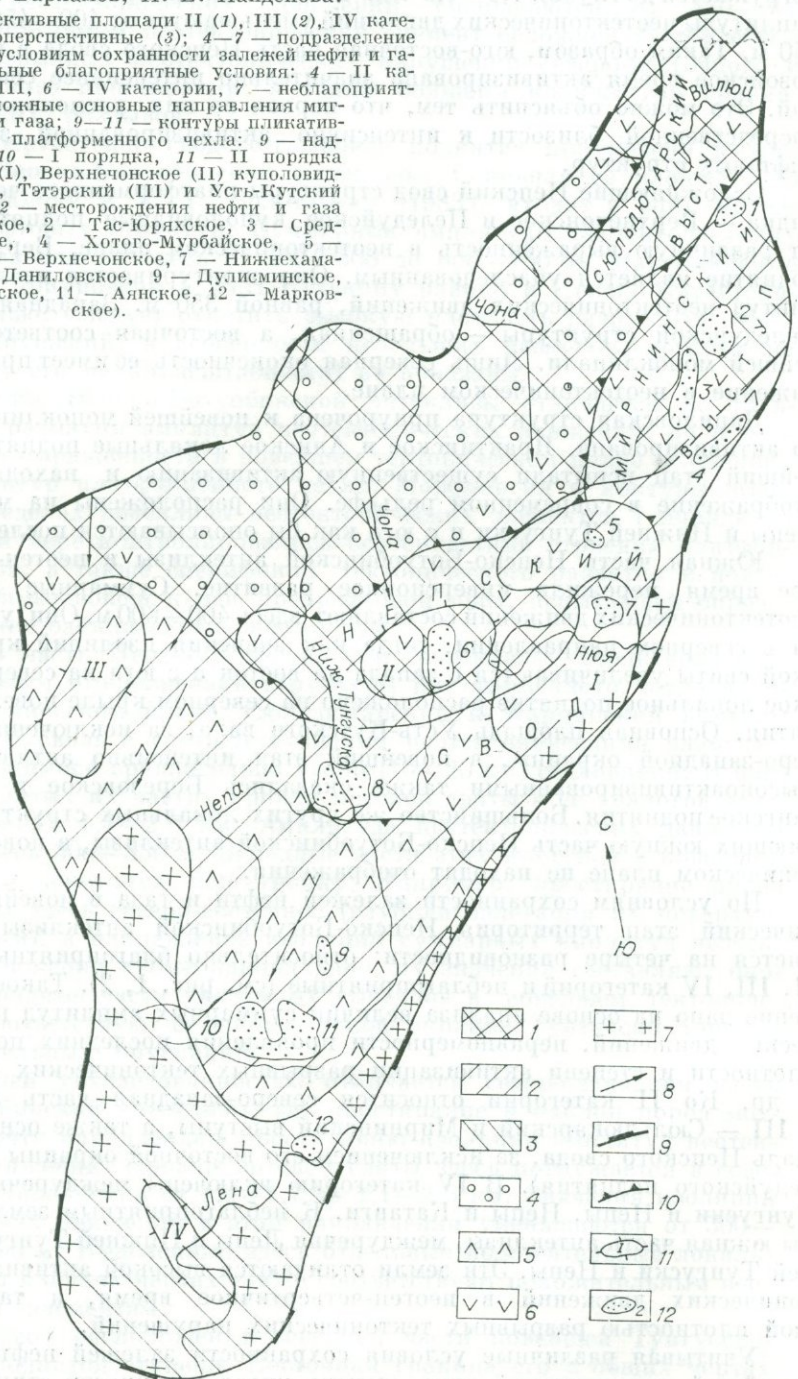
По условиям сохранности залежей нефти и газа в новейший тектонический этап территория Непско-Ботубинской антеклизы подразделяется на четыре разновидности: относительно благоприятные условия II, III, IV категорий и неблагоприятные (см. рис. 1, 2). Такое подразделение дано на основе анализа величин суммарных амплитуд неотектонических движений, неравномерности проявления последних по площади, плотности и степени активизации разрывных тектонических нарушений и др. Ко II категории относится северо-западная часть антеклизы, к III — Сьюльдюкарский и Мирнинский выступы, а также основная площадь Непского свода, за исключением его восточной окраины (район Пеледуйского поднятия). В IV категорию включены междуречья Нижней Тунгуски и Непы, Непы и Катанги. К неблагоприятным землям отнесены южная часть антеклизы, междуречья Лены и Нижней Тунгуски, Нижней Тунгуски и Непы. Эти земли отличаются высокой активизацией тектонических движений в неоген-четвертичное время, а также большой плотностью разрывных тектонических нарушений.

Учитывая различные условия сохранности залежей нефти и газа в новейший тектонический этап, степень унаследованности структур платформенного чехла, возможные основные пути миграции углеводородов за счет неравномерного проявления неотектонических движений и другие неотектонические параметры, авторы дали оценку перспектив нефтегазоносности Непско-Ботубинской антеклизы (см. рис. 2).

В заключение следует отметить следующее. Дешифрирование космоснимков дает богатый материал для решения ряда вопросов новейшей тектоники и структурной геоморфологии. Этот материал необходимо подкреплять анализом крупномасштабных топокарт, что позволит с доста-

Рис. 2. Схематическая карта перспектив нефтегазоносности Непско-Ботуобинской антеклизы (по неотектоническим параметрам). Составили И. П. Варламов, Н. Е. Найденкова.

1—3 — перспективные площади II (1), III (2), IV категорий и малоперспективные (3); 4—7 — подразделение площадей по условиям сохранности залежей нефти и газа; относительные благоприятные условия: 4 — II категории, 5 — III, 6 — IV категории, 7 — неблагоприятные; 8 — возможные основные направления миграции нефти и газа; 9—11 — контуры пиклятивных структур платформенного чехла: 9 — надпорядковых, 10 — I порядка, 11 — II порядка (Пеледуйское (I), Верхнечонское (II) куполовидные поднятия, Татарский (III) и Усть-Кутский (IV) вали); 12 — месторождения нефти и газа (1 — Иреляхское, 2 — Тас-Юряхское, 3 — Среднеботуобинское, 4 — Хотого-Мурбайское, 5 — Кюельское, 6 — Верхнечонское, 7 — Нижнехаманитское, 8 — Даниловское, 9 — Дулишинское, 10 — Ярактинское, 11 — Аянское, 12 — Марковское).



точной уверенностью выяснять не только качественные параметры новейшей тектоники, но и количественные. Полевые геолого-геоморфологические исследования следует сопровождать не только камеральным дешифрированием космоснимков, но и полевым. При этом в процессе полевых работ необходимо разрабатывать своеобразные легенды их ландшафтного и геолого-геоморфологического дешифрирования, чтобы впоследствии произвести районирование Сибирской платформы по приме-

нению рациональных методов дешифрирования космоснимков, составить общую (типовую) легенду.

Из простого сравнения имеющихся дежурных карт перспектив нефтегазоносности Сибирской платформы и карт новейшей тектоники вытекает, что положительными неотектоническими параметрами, влияющими на нефтегазоносность, являются унаследованность регионального неотектонического плана от геологической структуры платформенного чехла, умеренная активизация структурных ловушек нефти и газа в неоген-четвертичное время, сравнительно небольшие суммарные амплитуды (до 400—500 м) неотектонических движений и их градиенты. Высокая степень активизации структур II и более высоких порядков при всех прочих равных условиях отрицательно сказывается на их нефтегазоносности вследствие ухудшения условий сохранности залежей углеводородов. Вместе с тем данный фактор может обусловить миграцию нефти и газа к этим структурам. Но и в последнем случае слишком высокая степень тектонической активизации в конечном итоге может привести к разрушению залежей не только в пределах таких структур, но и в прилегающих к ним площадях.

Эти положения, высказанные в целом для нефтегазоносных областей Сибири [Варламов, 1982], можно отнести и к Непско-Ботуобинской антеклизе. Большинство структурных ловушек, к которым приурочены месторождения нефти и газа, здесь характеризуется прямым соотношением новейших тектонических элементов со структурами платформенного чехла (Верхнечонское, Ярактинское, Аянское, Среднеботуобинское, Тас-Юряхское), умеренной активизацией в новейший этап, относительно малой густотой разрывных тектонических нарушений. В южной же части антеклизы, где произошла перестройка структурного плана в неоген-четвертичное время, локальные структуры в большинстве случаев не активизировались. Они, как правило, не содержат промышленных скоплений нефти и газа или же характеризуются небольшими запасами. Из проведенного анализа вытекает важный вывод о том, что при оценке перспектив структур Непско-Ботуобинской антеклизы на нефть и газ необходимо учитывать влияние различных параметров новейшей тектоники на те или иные аспекты нефтегазоносности.

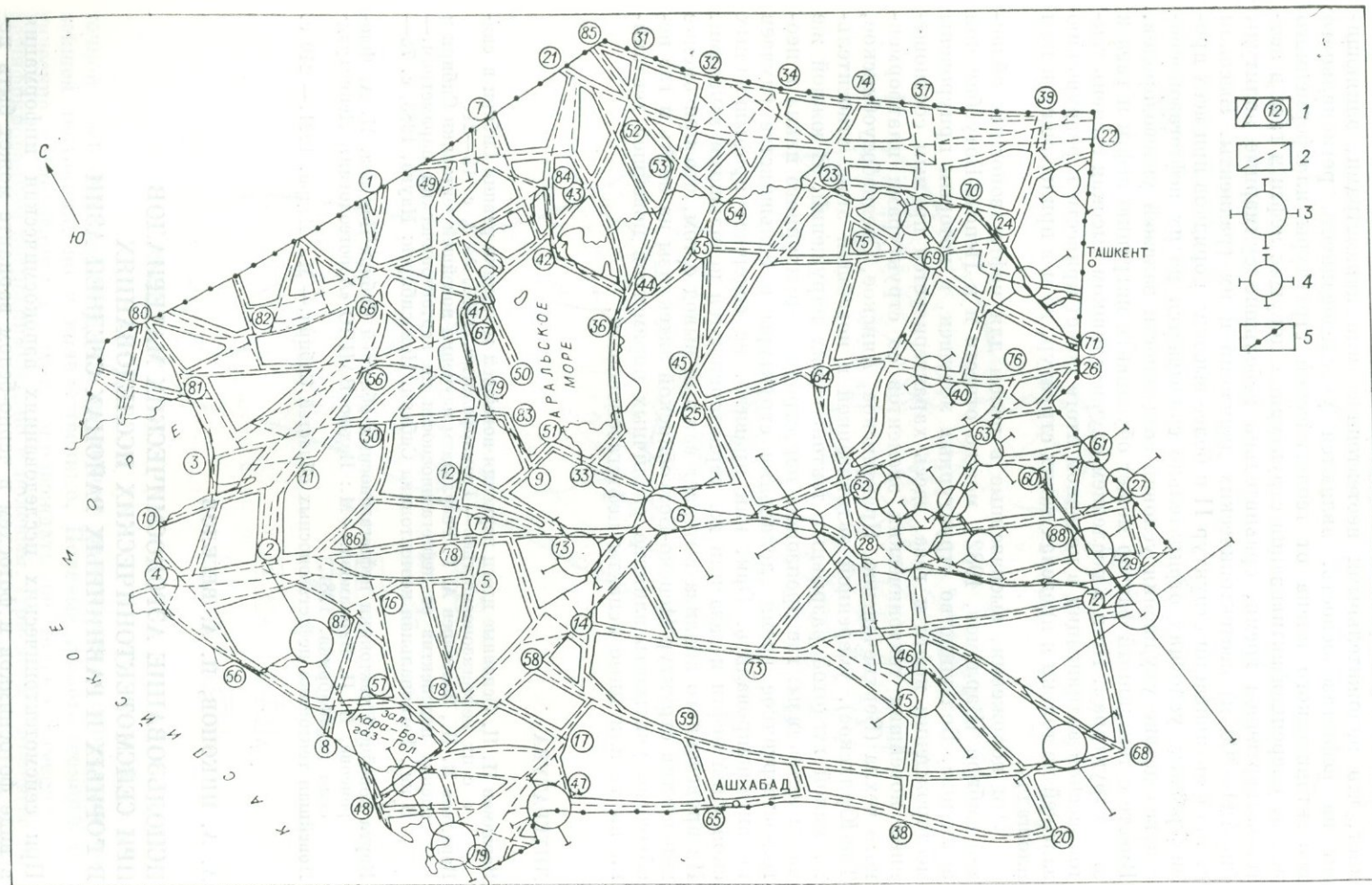
ЛИТЕРАТУРА

- Варламов И. П. Основные итоги изучения новейшей тектоники равнин Сибири в связи с их нефтегазоносностью.— Геоморфология, 1982, № 3, с. 13—21.
- Варламов И. П., Золотарев А. Г. Результаты изучения новейшей тектоники Сибири и оценка перспектив ее нефтегазоносности по неотектоническим параметрам.— В кн.: Региональная неотектоника Сибири. Новосибирск: Наука, 1983, с. 78—87.
- Карта новейшей тектоники нефтегазоносных областей Сибири/Под ред. Н. А. Флоренсова, И. П. Варламова.— М.: Изд-во ВАНПО «Аэрогеология», Ленинградская картфабрика, 1981.
- Новейшая тектоника нефтегазоносных областей Сибири.— М.: Недра, 1981.— 240 с.

А. А. НИКОНОВ, И. А. ВЕСЕЛОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В ГОРНЫХ И РАВНИННЫХ РАЙОНАХ СРЕДНЕЙ АЗИИ

При сейсмотектонических исследованиях аэрокосмическая информация в виде фотоснимков и фотосхем в черно-белом варианте может быть использована главным образом при дешифрировании линеаментов разного ранга, отражающих как крупные зоны неоднородностей (часто разломов)



Исторический очерк развития и современного состояния Каракумского оазиса

С. 22. Каракумский оазис. Развитие и современное состояние. 1950 г.

в поверхностных и глубоких частях земной коры, так и отдельные, проявляющиеся на земной поверхности, разрывы.

Опыт использования космической информации именно для сеймотектонических исследований пока очень невелик и явно недостаточен. Традиционно дешифрируются пространственное положение, простираание, размеры линеаментов. Гораздо реже по космическим материалам удается определять тип и величину смещений и тем самым выявлять кинематическую картину и господствующее поле напряжений региона. Работая в весьма тектонически и сейсмически активном регионе, каким являются Среднеазиатский ороген и прилегающая часть Туранской плиты, авторы постарались извлечь из космофотоматериалов максимум информации, важной для сеймотектонических исследований. Задача решалась в трех разобренных и различных по строению, но весьма показательных и сейсмоопасных районах. Один из них — это равнинно-платформенная территория Туранской плиты, два других — горные и высокогорные: Северный Тянь-Шань и Северный Памир.

В соответствии со спецификой районов исследования в каждом из них несколько отличались по используемым материалам и методическим приемам, а потому и рассматриваются отдельно.

Вслед за большинством отечественных авторов под линеаментами мы понимаем линейно вытянутые элементы земной поверхности, прямо или косвенно отражающие особенности геологической структуры, в первую очередь разрывы и трещиноватость фундамента [Макаров, 1981; Шульц, 1979].

Линеаменты равнин Средней Азии, выделенные по космическим снимкам, и эпицентры сильных землетрясений. По результатам дешифрирования космических снимков составлена карта линеаментов на территорию всей Туранской плиты.

При дешифрировании были использованы космические телевизионные снимки, полученные системой «Метеор-природа». Снимки земной поверхности сделаны спутниками «Метеор-29» и «Метеор-30» в разное время года; преобладают снимки летнего и осеннего сезонов. Линеаменты выделялись традиционно, использовались при дешифрировании прямолинейные отрезки форм рельефа, ландшафта, изменение фототона и пр. Наименьшая длина на местности выделяемого линеамента равнялась 7 км. Итоговая карта построена в масштабе 1 : 2 500 000.

Затем отдельные линеаменты были объединены в крупные зоны, причем основным признаком объединения отдельных линеаментов в единую зону была их пространственная близость и совпадение в простираании (см. рисунок). Составленная по единой методике карта позволила проанализировать общие закономерности сети линеаментов Турана, проследить связь линеаментов с конкретными зонами региональных разломов и приуроченность к ним эпицентров сильных землетрясений.

Сопоставление выделенных зон линеаментов с Космофототектонической картой Арало-Каспийского региона под редакцией В. Н. Брюханова и Н. А. Еременко [Брюханов и др., 1980] показало, что в целом зоны линеаментов обеих карт хорошо совпадают. Это может свидетельствовать о высокой информативности снимков «Метеор-природа» по сравнению с космофотоснимками ДОС. Не имея здесь возможности подробно анализировать указанные карты, остановимся лишь на одном различии. Зона линеаментов Карты..., отделяющая структуры Прикаспийской синеклизы Восточно-Европейской платформы и структуры Туранской плиты, своим юго-западным окончанием проходит по сору Кайдак и охватывает п-ов Бузачи с востока, причленяя его территорию к Прикаспийской синек-

Карта зон линеаментов Турана, выделенных по космическим снимкам (м-б 1 : 2 500 000).

1 — зоны линеаментов и их номера; 2 — фактически существующие линеаменты и их возможные продолжения в пределах зон; 3, 4 — эпицентры землетрясений с $M \geq 7,0$ (3) и с $M \geq 6,0$ (4); 5 — границы изученной территории.

клизе. На нашей карте эта зона имеет в южной части помимо ветви 1—2 (номера зоны на рисунке) также и ветвь 1—3, которая соответствует общепринятой тектонической границе Туранской плиты [Яншин и др., 1961; Тектоническая карта..., 1975; и др.]. На основании спутниковой информации представляется возможным сохранить традиционную границу Туранской плиты.

В работе О. М. Борисова и А. К. Глуха [1982] использованы материалы телевизионной съемки системы «Метеор» мелкого масштаба. Соответственно разрешающая способность исходной информации оказалась значительно ниже, чем таковая обработанных нами снимков «Метеор-природа». Сопоставление каждого из 35 региональных линеаментов, выделенных в упомянутой работе, с линеаментами нашей карты не представляется возможным, поэтому отметим основные черты сходства и различия.

Наилучшее совпадение отмечено для линеаментов, ориентированных в северо-западном направлении, наихудшее — для субмеридиональных. В целом совпадают более половины линеаментов, в частности почти все зоны линеаментов, соответствующие известным тектоническим границам; несовпадение наблюдается для структур, само существование которых вызывает споры исследователей. Примерами хорошего совпадения могут служить линеаменты: Мангышлакский — с зоной 4—6; Пяндж-Нуратинский — с зоной 25—26; Линия Николаева — с зоной 21—22; Кызылкумский — с зоной 6—27; Узбой-Сарьсуйский — с зоной 19—34; Персидско-Балхашский — с зоной 37—38; Кокаральский — с зоной 30—31. Переход от мелкомасштабных снимков системы «Метеор» к снимкам «Метеор-природа» позволяет значительно детализировать очертания зон линеаментов.

Вопрос о связи линеаментов с зонами разломов остается дискуссионным. Безоговорочное принятие любого линеамента в качестве разлома, как это фактически делается в некоторых публикациях (например, [Алейников и др., 1982]), представляется сомнительным. Мы стремились рассмотреть соотношение каждого из линеаментов с крупными разломами. Положение и ранги разломов приведены по материалам ряда авторов и авторских коллективов [Тектоническая карта..., 1967, 1968, 1975; Карта разломов СССР, 1976; Тектоника Копетдага..., 1972; Борисов, 1982; и др.].

Глубинные разломы. С линеаментами нашей карты совпадают разломы: Мангышлакский (Северомангышлакский), Амударьинский, Линия Николаева (Главный Тянь-Шаньский), Предкопетдагский, Северобалхашский, Куландинский, Севастопольский. Кызылкумский (Кызылкумо-Южноферганский, Северокрызылкумский) разлом на схеме линеаментов не прослеживается, возможно из-за отсутствия тектонического обновления разлома в новейшее время. Центрально-Устюртский разлом совпадает с зоной 1—55 своей северной частью, но к югу он не прослеживается. Однако существование Центрально-Устюртского разлома, картируемого В. С. Беспаловым [Тектоническая карта..., 1975], как крупной глубинной структуры спорно. На Карте разломов СССР [1976], например, эта зона вообще отсутствует. Центрально-Каракумский разлом на карте зон линеаментов не выражен. Зона, как и указанный разлом, поперечная к основному простиранию структур, наблюдается севернее — 48—6 и 19—14. На Карте разломов СССР [1976] Центрально-Каракумского разлома нет. Северокаспийскому разлому — краевому шву — соответствует зона 1—3(10).

Подробный анализ положения глубинных разломов и их соотношения с зонами линеаментов позволяет сделать вывод о хорошем их согласовании. Несовпадение касается разломов, положение или существование которых спорно. В зонах других разломов, не нашедших отражения в линеаментах, тектоническая активность в новейшее время, по-видимому, отсутствовала.

Региональные разломы. Из 15 основных региональ-

ных разломов лишь два не выражены в зонах линеаментов. При сравнении использованных источников (см. выше) выявлено, что ранг этих двух разломов является спорным.

Схема линеаментов позволяет выделить зоны протяженных нарушений земной коры, иногда пересекающие всю Туранскую плиту, но отсутствующие на тектонических картах. Это, прежде всего, северо-восточные зоны, имеющие поперечную к основному простиранию структур ориентировку. Примерами служат зоны 48—74, 19—14, 32—33, 15—64—75, 38—76, 40—39, 32—33, 41—31, 4—81—80. Некоторые поперечные зоны явно разорваны и смещены, например 18—77 и 78—79. Крупные субширотные зоны: 3—83, 81—82—84. К востоку от Линии Николаева, параллельно ей, обнаружена крупная зона 22—37—85.

Зоны линеаментов и эпицентры сильных землетрясений. Территория Туранской плиты характеризуется значительной сейсмичностью. Данные по эпицентрам сильных землетрясений, содержащиеся в «Новом каталоге...» [1977], были существенно уточнены и дополнены А. А. Никоновым на основании тщательно-го анализа исторических материалов. На территории Туранской плиты насчитывается теперь 23 землетрясения с магнитудой больше 6,0.

Анализ соотношения эпицентров сильных землетрясений и зон линеаментов (см. рисунок) позволяет сделать следующие заключения. Из 12 эпицентров землетрясений с $M > 7$ в узлы пересечений зон линеаментов попадают 7, в пределы зоны линеамента — 1 и во внутренние части блоков между зонами — 5 (2 из них локализованы плохо). Из 11 эпицентров землетрясений с магнитудой от 6,0 до 7,0 3 попадают в узлы пересечений зон линеаментов, 6 — в пределы зон линеаментов и лишь 3 — в пределы блоков (эти эпицентры все локализованы неудовлетворительно).

Таким образом, наблюдается явно выраженная приуроченность эпицентров сильных землетрясений к зонам линеаментов и узлам их пересечений. Причем эпицентры сильнейших землетрясений большей частью приурочены именно к узлам пересечений линеаментов. Ввиду неточной локализации древних исторических землетрясений мы не можем решить вопрос о том, отражает ли попадание эпицентров внутрь блоков реальные соотношения или связано с неточностью исходных данных по землетрясениям.

Итак, снимки спутниковой системы «Метеор-природа» оказались оптимальным исходным материалом для составления карты линеаментов на обширную закрытую осадочным чехлом территорию Туранской плиты. Это вытекает из сравнения полученной карты с картами, построенными по снимкам «Метеор» мелкого масштаба. Сопоставление выделенных зон линеаментов с геологически и геофизически обоснованными глубинными и региональными разломами Турана (по опубликованным данным) обнаруживает хорошее их пространственное согласование. Это позволяет в случаях, когда линеаменты выделяются в местах, не установленных наземными исследованиями, считать полученную с помощью космических снимков «Метеор-природа» карту линеаментов дополнительной информацией о разломной тектонике.

Линеаменты горных районов и их сейсмотектоническое значение. Для сейсмотектонических исследований с помощью аэрокосмической информации было выбрано два весьма активных района в горах Средней Азии, обеспеченных фотосхемами космических съемок. Дешифрирование изображений в обоих районах сопровождалось аэровизуальными наблюдениями и наземными исследованиями разной степени детальности (первые — в большей степени на северном участке, вторые — на южном). Вначале мы дешифрировали линеаменты по космическим изображениям (с подразделением на уверенно и менее уверенно выделяемые), а их сопоставление с аэровизуальными и наземными материалами проводилось независимо и позднее. Не имея здесь возможности привести картографический материал, ограничимся его кратким описанием.

На северном участке, охватывающем Северный Тянь-Шань, отчетливо выделено значительное число узких, однородных по изображению линеаментов, явно отражающих разрывы земной поверхности (и приповерхностных частей земной коры). Эти линеаменты проявляются как в пределах выходов на поверхность палеозойского фундамента (преимущественно в хребтах), так и в области развития кайнозойского чехла (Чуйская и Илийская впадины, Кочкорская, Иссыккульская межгорные котловины), хотя в последней чаще с меньшей уверенностью. Наибольшее число и наибольшая протяженность линеаментов приурочены к Заилийскому и Киргизскому хребтам, хр. Кунгей, т. е. к полосе шириной около 50 км на северном ограничении Тянь-Шаня.

Выделенные линеаменты (разрывы) укладываются в несколько систем с преобладанием широтной. В системе широтных наиболее протяженными (по 70—120 км) являются линеаменты в осевой части (на восточном фланге) и у северного подножия Киргизского хребта, в осевой части Заилийского хребта и по южному ограничению Чон-Кеминского, а также в северных предгорьях Заилийского хребтов. На космических снимках также отчетливы системы линеаментов северо-восточного и северо-западного, т. е. секущих простираний. Секущие линеаменты развиты преимущественно в области сочленения хребтов Заилийского, Кунгей и Киргизского и в прилежащих их частях. Наиболее крупный из линеаментов северо-восточного простирания — Каскеленский, протягивающийся суммарно на 160 км от долины р. Чу в Боомском ущелье до долины р. Или, а из линеаментов северо-западного простирания — Чуйский (по правобережью одноименной долины в пределах предгорной равнины) длиной не менее 140 км.

Часть линеаментов хорошо идентифицируется с отчетливо видимыми при аэровизуальных наблюдениях разрывными нарушениями. Хотя полное сопоставление линеаментов с известными по наземным исследованиям разломами еще предстоит, ясно, что целый ряд линеаментов, как продольных широтных, так и секущих, совпадает с закартированными на основе геологических методов новейшими разломами. К ним относятся, например, разломы Предзаилийский, Чон-Кеминский, Кунгейский, Чуйский, Кескеленский и др. Кое-где по космофотоматериалам удалось установить тип смещений (например, надвигание по Предзаилийскому разлому и сдвигание по секущим разрывам). В некоторых случаях схема линеаментов по космическим изображениям дает важные детали (в отношении конфигурации, сочленений, пересечений и протяженности) картины линеаментов, существенно дополняющие и проясняющие результаты наземного картирования разрывов.

Общий рисунок линеаментов и отдельные признаки кинематики интерпретируются как господство в земной коре региона субмеридионального сжатия. Предварительное сопоставление с распределением эпицентров сильных землетрясений (с $M \geq 5$) позволяет констатировать приуроченность большинства из них к линеаментам, хотя имеются отдельные исключения: эпицентры вне выявленных линеаментов и, наоборот, крупные узлы линеаментов без известных сильных землетрясений.

На южном участке — Восточном Памире и прилегающей к нему с востока территории — также выделена достаточно густая сеть линеаментов в пределах выходов пород различного возраста. Картина линеаментов, выявленных по космическим изображениям, здесь значительно отличается от таковой в Северном Тянь-Шане. Большая часть линеаментов протягивается на несколько десятков километров, причем многие из них подставляют друг друга, нередко образуя протяженные линейные, но изгибающиеся в плане, в том числе фестончато, зоны. Такого рода зоны можно выделить на южном ограничении Тянь-Шаня и северном ограничении Памира. Именно в этой области и на Юго-Восточном Памире отмечается наибольшая густота линеаментов.

На Памире преобладает система широтных линеаментов, на юго-востоке Памира отклоняющаяся к юго-востоку; на прилегающей с востока

территории преобладающими становятся линеаменты юго-восточного простирания. Часть из них пространственно согласуется с известными по наземным геологическим исследованиям разломами, такими, как Гиссаро-Кокшаальский, Предзаалайский, Дарваз-Каракульский, Рушано-Пшартский и др. Однако выделяются и другие, менее крупные линеаменты, пока не идентифицированные с определенными разломами, особенно в восточной части региона. По широтным и субширотным линеаментам местами по северной и северо-восточной границам Памира намечаются признаки надвигания, большей частью к северу и северо-востоку, но в одном случае (по-видимому, на северном ограничении местного грабена) — к югу. По некоторым линеаментам юго-восточного простирания отмечены признаки сдвигания (правостороннего, до 1 км).

Другим характерным признаком района, фактически впервые установленным по космофотоматериалам, является существование линеаментов меридионального простирания длиной по 20—40 км, редко более. В то же время система секущих линеаментов северо-восточного и северо-западного простираний проявлена в очень слабой степени. Линеаменты меридионального простирания явно превышают по ширине (в несколько раз) таковые других простираний, достигая 2—4 км (на местности), отражая субширотное относительное растяжение в верхней части земной коры. На существующих картах меридиональные разломы не выделялись.

Простирание линеаментов, соотношение ширины у субширотных и меридиональных, а также отдельные кинематические признаки вкпе свидетельствуют о господстве в районе субмеридионального сжатия и относительного субширотного растяжения, что вполне согласуется с геологическими наблюдениями [Никонов и др., 1983].

Что касается эпицентров сильных землетрясений ($M \geq 6$), то большая их часть также приходится на линеаменты и узлы их пересечения, хотя имеются и исключения, требующие специального анализа.

В целом нужно констатировать, что фотосхемы на материалах космических съемок открывают значительные по сравнению с традиционными методами возможности для выявления и картирования молодых разрывных нарушений в горных районах Средней Азии, а также дают дополнительную информацию о кинематике перемещений по некоторым разрывам и об общих динамических условиях изучаемых районов.

Выводы. Космические снимки систем «Метеор-природа» и других обладают высокой информативностью для выделения линеаментов, включая молодые разрывы, соответственно в равнинных и горных районах Средней Азии.

Сопоставление линеаментов, а иногда заведомых разрывов (разломов), выделяемых на указанных космических снимках, с разломами, установленными наземными исследованиями, часто позволяет констатировать их хорошее пространственное совпадение. В ряде случаев по космическим снимкам намечаются продолжения известных по наземным материалам разломов, а также уточняются сомнительные участки, особенно в местах изгиба, сочленения и пересечения линеаментов. Особенно важно выявление как в равнинных, так и в горных районах системы поперечных нарушений и установление признаков смещений по разломам, что дает дополнительные сведения о кинематике и поле напряжений изученных районов.

Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что нельзя все полученные по космическим изображениям линеаменты, особенно на закрытых равнинных территориях, считать разломами. Иными словами, опыт использования упомянутых космических материалов показывает, что они дают независимо от наземных исследований (в дополнение к ним и в сравнении с ними) новую информацию по разломной тектонике и геодинамике, т. е. могут и должны быть обязательным элементом сейсмотектонических исследований.

Сравнение выделенных по космофотоизображениям линеаментов с пространственным распределением эпицентров сильных ($M \geq 6$) земле-

трясений исторического времени показывает, что к линеаментам и узлам их пересечений приурочено 70% эпицентров сильных землетрясений. Следовательно, составленные с помощью новой космической информации, в комплексе с другими геолого-геофизическими материалами, схемы линеаментов могут служить более точной основой для прогноза мест возможного возникновения сильных землетрясений в пределах как горной, так и равнинной территории Средней Азии.

ЛИТЕРАТУРА

- Алейников А. Л., Белавин О. В., Стрельников С. И. и др. Закономерности размещения линеаментов на Урале и в сопредельных регионах.— Бюл. МОИП. Отд. геол., 1982, т. 57, вып. 3, с. 25—39.
- Борисов О. М. Разломная тектоника Средней Азии.— В кн.: Металлогенетические проблемы Средней Азии. Ташкент: Фан, 1982, с. 37—53.
- Борисов О. М., Глух А. К. Кольцевые структуры и линеаменты Средней Азии.— Ташкент: Фан, 1982.— 123 с.
- Брюханов В. Н., Волчегурский Л. Ф., Галактионов А. В., Ромашов А. А. Космофото-тектоническая карта Арало-Каспийского региона.— В кн.: Четвертичная геология и геоморфология. Дистанционное зондирование. М.: Наука, 1980, с. 150—154.
- Карта разломов СССР.— М.: ГУГК, 1976.— 16 л.
- Макаров В. И. Линеаменты.— Исследования Земли из космоса, 1981, № 4, с. 109—115.
- Никонов А. А., Ваков А. В., Веселов П. А. Сейсмодетектоника и землетрясения зоны сближения Памира и Тянь-Шаня.— М.: Наука, 1983.— 240 с.
- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР.— М.: Наука, 1977.— 526 с.
- Тектоника Копетдага и его сочленения с Туранской плитой. Атлас карт/Под ред. М. В. Муратова, Л. Н. Смирновой.— Ростов-на-Дону — Москва: ГУГК при СМ СССР, 1972.— 8 л.
- Тектоническая карта западной части Средней Азии/Гл. ред. Г. Х. Дикенштейн.— М.: ГУГК — ВИНТИ, 1968.— 7 с.
- Тектоническая карта Узбекской ССР/Сост. В. А. Арапов и др.— М.: ГУГК при СМ СССР, 1967.— 8 л.
- Тектоническая карта Казахской ССР и прилегающих территорий союзных республик/Ред. В. С. Беспалов и др.— М.: Аэрогеология, 1975.— 6 л.
- Шульц С. С. Тектоника земной коры.— Л.: Недра, 1979.— 272 с.
- Яншин А. Л., Гарецкий Р. Г., Наумова С. Н., Шлезингер А. Е. О положении границы Русской платформы к востоку от Каспийского моря.— Бюл. МОИП. Отд. геол. 1961, № 36, вып. 4, с. 76—96.

В. И. ВИТЯЗЬ

ПЕРИОДИЧНОСТЬ РАЗМЕЩЕНИЯ СЕЙСМОАКТИВНЫХ СТРУКТУР И ДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ КРУПНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Сравнительно невысокая эффективность прогноза землетрясений обусловлена в значительной мере недостаточным вниманием к особенностям локализации и закономерностям размещения сейсмоактивных структур. На примере Курило-Камчатского региона решалась задача исследования пространственной периодичности размещения сейсмоактивных структур как возможной основы прогнозирования крупных событий. Рассматривая сейсмоактивную структуру (САС) как геологическую область накопления тектонических напряжений (накачки энергии) за счет вязких, вязко-упругих, упругих деформаций и их периодической разрядки (разрушения) ударными волнами по системе сколов, сдвигов, взбросов, сбросов, представляется возможным не только вычленивать, но и опознать закономерности размещения подобных областей геологического пространства. Подготовка наиболее сильных землетрясений, по Кейлис — Бороку, осу-

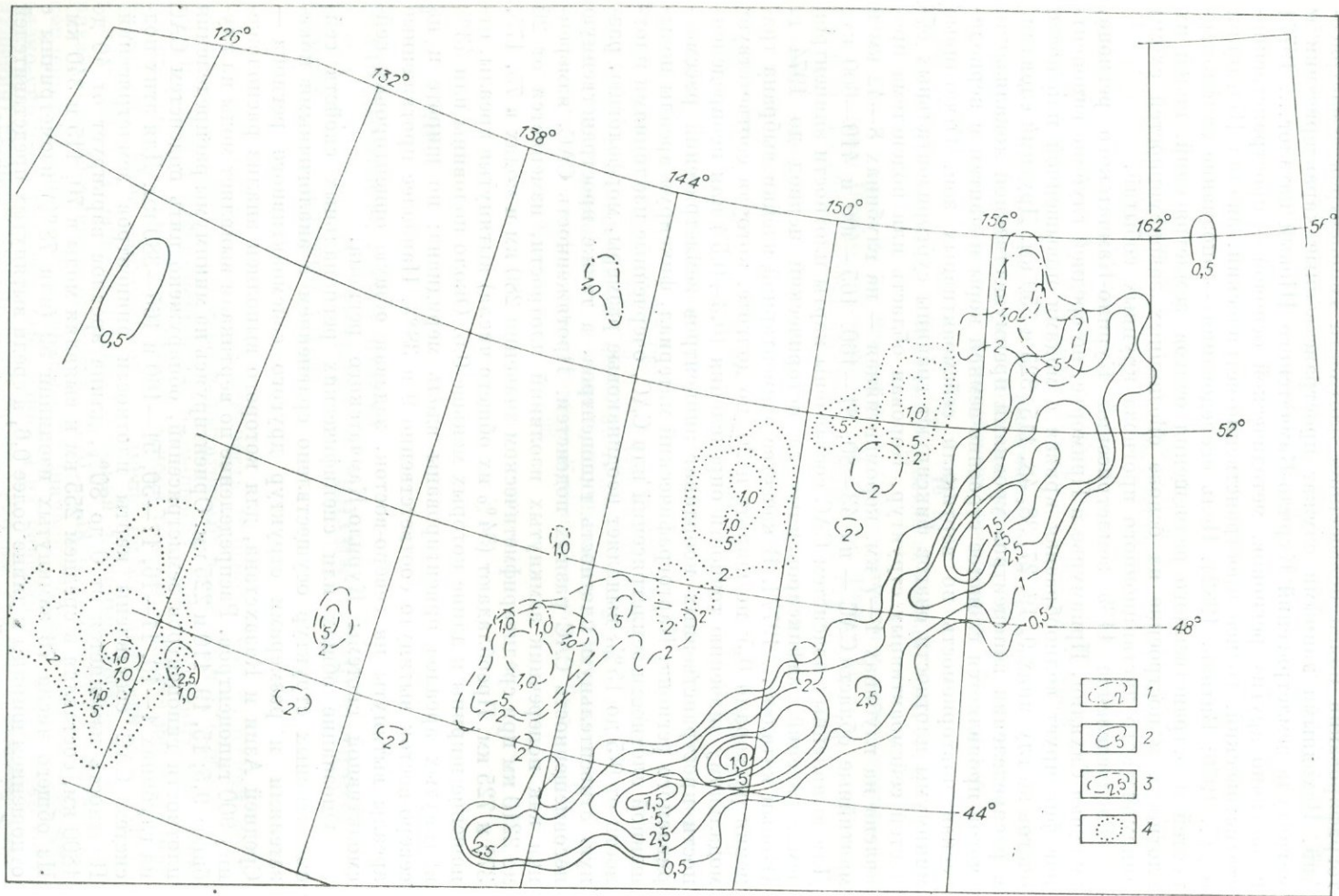
ществляется на площади в миллионы квадратных километров, а сильнейшие пространственно связаны со смещением крупных блоков коры и мантии или гигантскими трещинами длиной в сотни километров [Губин, 1979; Садовский, 1977]. Вычленение САС осуществляется на основе картографирования полей повышенной плотности гипоцентров землетрясений. Исходными данными служат пространственные характеристики и магнитуда землетрясений Курило-Камчатского [Новый каталог..., 1977] и частично других регионов, методической основой — пространственно-статистический, точнее пространственно-метрический, анализ [Богацкий и др., 1976; Витязь, 1982]. Цель исследования — опознание закономерностей пространственного размещения очагов землетрясений, полей их плотности и построение на основе опознанных закономерностей схемы динамического дистанционного прогноза крупных событий.

Распределение 1139 землетрясений Курило-Камчатского региона, включая Сахалин, Приамурье и Приморье, по средней глубине гипоцентров фиксирует волнообразная кривая с модами повышенной плотности очагов на глубинах 9, 19, 27, 38, 48, 115, 325 и 550 км. Другими словами, в распределении гипоцентров уровнями преимущественной локализации очагов проявляется слоистое строение земной коры и мантии и периодическая повторяемость по вертикали сейсмоактивных зон. Отчетливые минимумы плотности очагов фиксируют границы субгоризонтальных областей сейсмоактивных структур. Коровая область или подсистема проявлена на глубинах 1—7 км, коромантийная — на глубинах 8—42 км и мантийные области САС — на 43—80, 81—160, 165—400 и 410—600 км. Для выявленных подсистем САС составлены карты плотности эпицентров землетрясений, зафиксированных за исторический период до 1974 г. [Новый каталог..., 1977]. В качестве элементарной ячейки выбрана трапеция размерами $0,5^\circ$ по широте и $20'$ по долготе, которая соответствует модальному значению точности определения ($0,3-0,5^\circ$) или неопределенности пространственных координат эпицентров землетрясений рассматриваемого региона. Картографический материал, фиксируя ареалы повышенной плотности землетрясений или САС, очерченные изолиниями плотности от 0,5 до 15%, выявляет неодинаковые размеры, морфологию, разную относительную плотность гипоцентров, а также пространственную несовместимость САС разных подсистем. Протяженность САС, измеренная как поперечник замкнутых изолиний плотности, изменяется от 20 до 2210 км при среднеарифметическом значении 280 км и модах в 75, 175, 375 и 725 км. Преобладают (54% их общего числа) вытянутые ареалы, отношение ширины к длине которых меньше 0,6. Около половины или 43% вытянутых ареалов ориентированы вдоль меридиана; по широте и на северо-восток вытянуто соответственно 9 и 38%. Наиболее протяженные ареалы вытянуты на северо-восток, задавая общую ориентировку сейсмоактивной системы Курило-Камчатского региона.

Опознание общих или специфических региональных свойств сейсмоактивных структур осуществлено сравнением с аналогичными показателями и размерами структур другого сейсмоактивного региона — Средней Азии и Казахстана, для которого выполнен анализ расположения 900 гипоцентров. Распределение по вертикали выявляет моды на глубинах 9,5; 15, 19, 110 и 225 км. Ориентируясь на минимумы распределения плотности гипоцентров землетрясений, обнаружено пять подсистем САС на глубинах 1—10, 11—16, 17—50, 51—160 и 165—380 км. Для этих подсистем САС составлены карты плотности эпицентров землетрясений. Плотность изменяется от 0 до 80%, длина ареалов варьирует от 40 до 1800 км, составляя в среднем 255 км и выявляя моды в 70, 115 и 340 км. Из общего числа 76 замкнутых изолиний 59 (или 78%) изометричны с отношением ширины к длине более 0,6, а среди вытянутых представителей преобладают ориентированные вдоль меридиана или широты.

Сравнение формы и размера САС Курило-Камчатского и Среднеазиатского регионов обнаруживает как общие свойства их структуры, так и региональную специфику. Сходство мод протяженности ареалов

54
ВНЕШНЕГО СРЕДНЕГО СЛОЯ. СТОИМОСТЬ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ВОЗДУШНО-ЖИДКОСТИ ВНЕШНЕГО СРЕДНЕГО СЛОЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ. СРЕДНЯЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИОННАЯ СКОРОСТЬ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ. СРЕДНЯЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИОННАЯ СКОРОСТЬ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ.

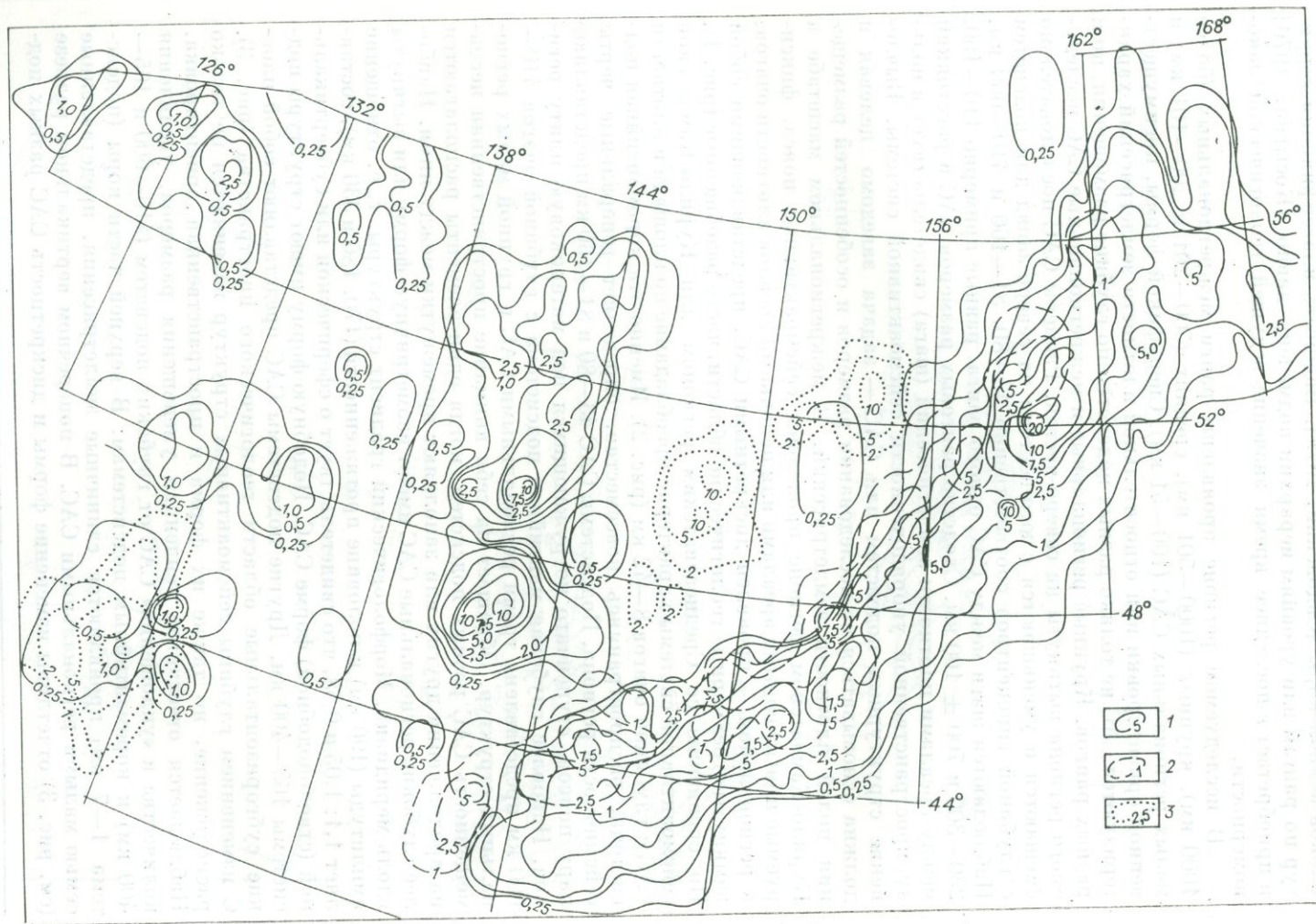


плотности землетрясений разных регионов — свидетельство устойчивости размеров САС и их ранжированности. Ранжированность (или естественная делимость геологических объектов) характерна для региональных и локальных нефтегазо- и рудоносных структур [Богацкий и др., 1979; Витязь, 1982], проявляется в гранулометрии грунтов или размерах блоков земной коры [Садовский, 1979]. Важность классификации структур по рангам или уровням иерархии подмечена давно [Косыгин, 1970] и приобретает в последнее время значение ведущей геологической закономерности.

В исследуемом регионе проявлены ранги межрегиональных (более 1000 км), крупных (1000—501 км), средних (500—201 и 200—101 км) и малых региональных САС (100—51 км). Спецификой формы, преимущественной ориентировки или относительной плотности землетрясений характеризуются САС не только разных подсистем по глубине размещения, но и разных рангов. Крупные региональные и межрегиональные САС исследуемого региона вытянуты на северо-восток. Размеры САС последовательно смещаются и уменьшаются с юго-востока на северо-запад для подсистем с глубиной гипоцентров соответственно 43—80, 81—160 и 410—600 км. Наблюдаются шаги между САС одного ранга, равные примерно 110—160, 230—300 и 700 ± 100 км. Сходство ранговых размеров САС и расстояний между ареалами плотности землетрясений (шага) свидетельствует в пользу пространственной упорядоченности сейсмоактивной системы. Вычленение структурных подсистем или САС — задача заведомо целевая и должна основываться на исследовании размеров и особенностей размещения полей плотности землетрясений. В межрегиональном масштабе в Курило-Камчатском регионе проявлены сейсмоактивные пояса, фиксируемые протяженными ареалами или цепочками ареалов плотности очагов, в региональном — проявлен дискретными САС, представляющими собой замкнутые трехмерные геологические области, часто разобщенные (рис. 1). По сравнению со Среднеазиатским регионом для Курило-Камчатской сейсмоактивной системы характерно преобладание по площади и плотности САС с глубиной очагов 8—42 км (рис. 2). Именно эта коромантийная подсистема, распространяясь повсеместно, определяет генеральные черты сейсмичности региона. Подсистемы САС 43—80 и 81—160 км представляют пару поясов, ступенчато погружающихся под материковую плиту региона. Наиболее глубокая мантийная подсистема с глубиной очагов 410—600 км представлена тремя региональными САС и группой малых региональных структур. Обращает на себя внимание пространственная несовместимость САС разных подсистем, когда одни элементы располагаются на продолжении других или заполняют промежутки между ними. Наиболее глубокие региональные САС имеют изометричную форму или вытянуты вдоль меридиана. Морфологический градиент структуры, т. е. отношение амплитуды (190 км) к половине протяженности (170, 180 и 330 км), составляет 1,4; 1,05 и 0,58, что свидетельствует о сферической или субвертикальной (стволоподобной) форме САС. Подобную форму имеют структуры подсистемы 165—400 км. Другие подсистемы САС представляют собой плоские субгоризонтальные области геологического пространства (рис. 3). С изменением глубины сейсмоактивных структур изменяются не только расположение, но также их форма и пространственная ориентировка. Наблюдается отчетливая тенденция уменьшения размеров, увеличения количества и «уплощения» САС от глубоких подсистем (410—600 и 165—400 км) к коромантийным подсистемам. В верхней части коры (подсистема 1—7 км) проявляются единичные землетрясения, представленные семью малыми региональными САС. В поперечном вертикальном разрезе (см. рис. 3) отчетливы изменение формы и дискретность САС разных под-

Рис. 1. Карта плотности гипоцентров землетрясений Курило-Камчатского региона. Изолинии плотности землетрясений (%) с глубиной очагов: 1 — 1—7 км (10 землетрясений); 2 — 43—80 км (209 землетрясений); 3 — 165—400 км (58 землетрясений); 4 — 410—600 км (70 землетрясений).

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.



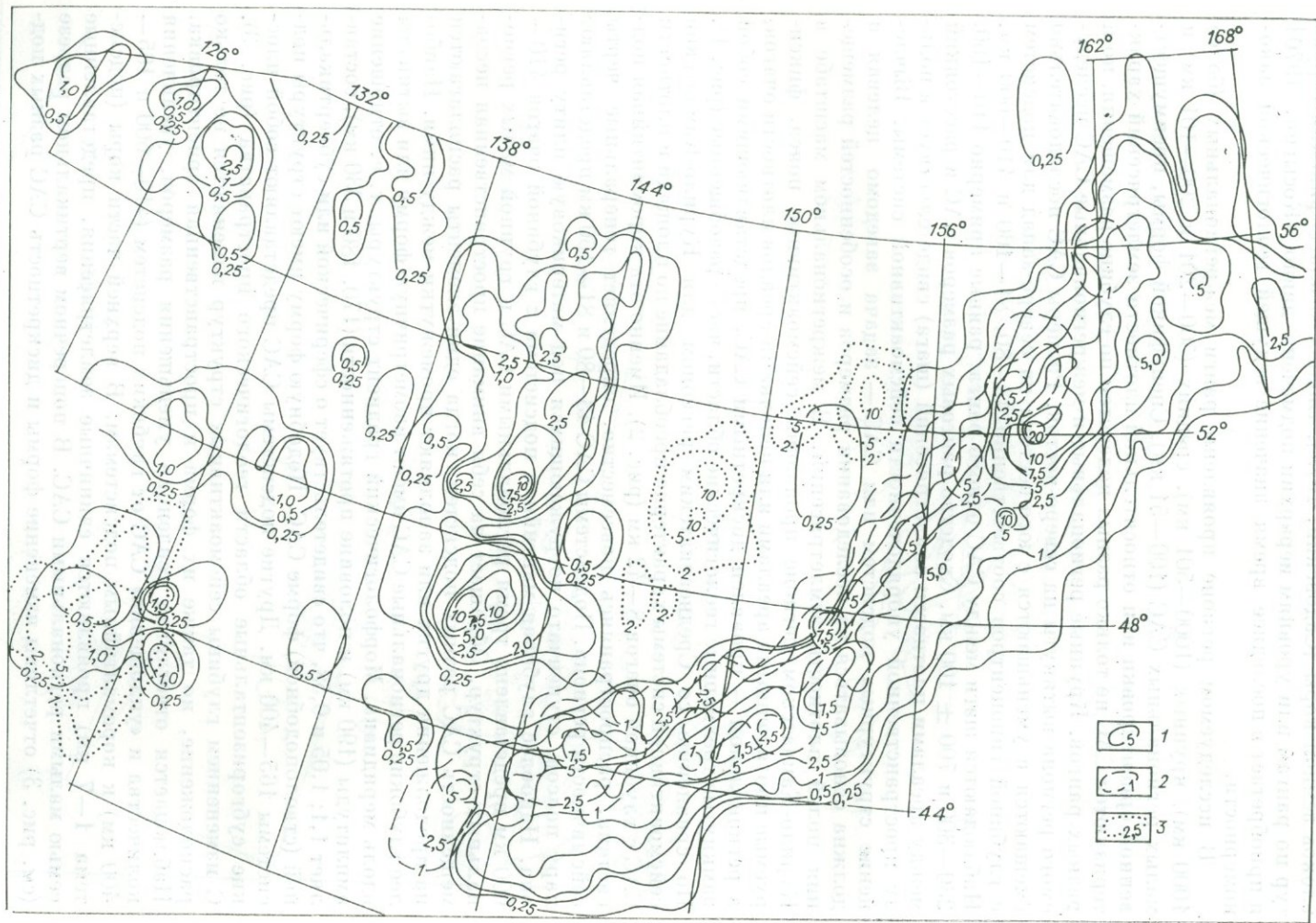
1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.

плотности землетрясений разных регионов — свидетельство устойчивости размеров САС и их ранжированности. Ранжированность (или естественная делимость геологических объектов) характерна для региональных и локальных нефтегазо- и рудоносных структур [Богацкий и др., 1979; Витязь, 1982], проявляется в гранулометрии грунтов или размерах блоков земной коры [Садовский, 1979]. Важность классификации структур по рангам или уровням иерархии подмечена давно [Косыгин, 1970] и приобретает в последнее время значение ведущей геологической закономерности.

В исследуемом регионе проявлены ранги межрегиональных (более 1000 км), крупных (1000—501 км), средних (500—201 и 200—101 км) и малых региональных САС (100—51 км). Спецификой формы, преимущественной ориентировки или относительной плотности землетрясений характеризуются САС не только разных подсистем по глубине размещения, но и разных рангов. Крупные региональные и межрегиональные САС исследуемого региона вытянуты на северо-восток. Размеры САС последовательно смещаются и уменьшаются с юго-востока на северо-запад для подсистем с глубиной гипоцентров соответственно 43—80, 81—160 и 410—600 км. Наблюдаются шаги между САС одного ранга, равные примерно 110—160, 230—300 и 700 ± 100 км. Сходство ранговых размеров САС и расстояний между ареалами плотности землетрясений (шага) свидетельствует в пользу пространственной упорядоченности сейсмоактивной системы. Вычленение структурных подсистем или САС — задача заведомо целевая и должна основываться на исследовании размеров и особенностей размещения полей плотности землетрясений. В межрегиональном масштабе в Курило-Камчатском регионе проявлены сейсмоактивные пояса, фиксируемые протяженными ареалами или цепочками ареалов плотности очагов, в региональном — проявлен дискретными САС, представляющими собой замкнутые трехмерные геологические области, часто разобщенные (рис. 1). По сравнению со Среднеазиатским регионом для Курило-Камчатской сейсмоактивной системы характерно преобладание по площади и плотности САС с глубиной очагов 8—42 км (рис. 2). Именно эта коромантийная подсистема, распространяясь повсеместно, определяет генеральные черты сейсмичности региона. Подсистемы САС 43—80 и 81—160 км представляют пару поясов, ступенчато погружающихся под материковую плиту региона. Наиболее глубокая мантийная подсистема с глубиной очагов 410—600 км представлена тремя региональными САС и группой малых региональных структур. Обращает на себя внимание пространственная несовершенность САС разных подсистем, когда одни элементы располагаются на продолжении других или заполняют промежутки между ними. Наиболее глубокие региональные САС имеют изометричную форму или вытянуты вдоль меридиана. Морфологический градиент структуры, т. е. отношение амплитуды (190 км) к половине протяженности (170, 180 и 330 км), составляет 1,1; 1,05 и 0,58, что свидетельствует о сферической или субвертикальной (стволоподобной) форме САС. Подобную форму имеют структуры подсистемы 165—400 км. Другие подсистемы САС представляют собой плоские субгоризонтальные области геологического пространства (рис. 3). С изменением глубины сейсмоактивных структур изменяются не только расположение, но также их форма и пространственная ориентировка. Наблюдается отчетливая тенденция уменьшения размеров, увеличения количества и «уплощения» САС от глубоких подсистем (410—600 и 165—400 км) к коромантийным подсистемам. В верхней части коры (подсистема 1—7 км) проявляются единичные землетрясения, представленные семью малыми региональными САС. В поперечном вертикальном разрезе (см. рис. 3) отчетливы изменение формы и дискретность САС разных под-

Рис. 1. Карта плотности гипоцентров землетрясений Курило-Камчатского региона. Изолинии плотности землетрясений (%) с глубиной очагов: 1 — 1—7 км (10 землетрясений); 2 — 43—80 км (209 землетрясений); 3 — 165—400 км (58 землетрясений); 4 — 410—600 км (70 землетрясений).

10-24-54 1000 м. 126°-168° 48°-56° 1:1000000
 1000 м. 126°-168° 48°-56° 1:1000000
 1000 м. 126°-168° 48°-56° 1:1000000



10-24-54 1000 м. 126°-168° 48°-56° 1:1000000
 1000 м. 126°-168° 48°-56° 1:1000000
 1000 м. 126°-168° 48°-56° 1:1000000

систем. Наиболее сильные землетрясения происходят главным образом в юго-восточной части региона на глубинах 43—80 км. Пространственно сближенные сейсмоактивные подсистемы в вертикальном сечении имеют структуру типа «песочных часов».

Сейсмоактивная область исследуемого региона представляет собой межрегиональную структурную систему протяженностью 3300 км (52° широтной дуги) и шириной 1600 км (15° дуги меридиана), состоящую из четырех САС межрегионального ранга и 143 САС региональных рангов. Плоские субгоризонтальные САС региональных рангов разных глубинных подсистем пространственно друг с другом не совмещаются, часто соседствуют или вытянуты под углом друг к другу, образуя в целом скорлуповато-чешуйчатый пятнистый рисунок.

Для Курило-Камчатского региона, как и для других сейсмоактивных областей, наблюдается периодичность возникновения землетрясений. Периоды сейсмоактивности зависят не только от магнитуды землетрясений, но и от пространственного положения очага. Характерен «мерцательный», волнообразный тип периодичности, когда землетрясения возникают поочередно в разных подсистемах САС. На эту особенность проявления землетрясений исследователи обратили внимание давно, считая, что «очередные сильные толчки возникают в зоне преимущественно между очагами предыдущих» [Губин, 1979]. Эта закономерность становится понятной, если учесть, что очередные сильные землетрясения возникают вслед за предыдущими в соседних САС одной подсистемы или смежных структурах разных подсистем.

Половина или 49% САС Курило-Камчатского региона относится к рангам 201—500 и 200—101 км, что на ранг крупнее преобладающих структур Среднеазиатского. При этом наибольшее число землетрясений Курило-Камчатского региона характеризуется магнитудой 6,2—6,5, а Среднеазиатского — 5,0—5,3. Иначе говоря, Курило-Камчатский регион отличается как большей энергией землетрясений, так и крупностью САС. Типичные для региона сильнейшие землетрясения готовятся в пределах крупных региональных структур, а катастрофические — в пределах межрегиональных САС. И те и другие структуры оказываются своеобразными тектоническими конденсаторами, периодическое снятие напряжений (землетрясения) в которых сопровождается формированием системы разрывов и, следовательно, более или менее значительным изменением самой структуры. Изменение морфологии, размера, внутреннего строения и степени взаимосвязи САС с соседними структурами обуславливает миграцию гипоцентров, нелинейное изменение пространственно-временной активности структурных подсистем.

Морфология, размеры и расположение структурной системы, составляющих ее подсистем и САС не только определяют тип признаков полей, но и подчеркивают территорию и задают сеть пунктов наблюдений, используемых для прогноза землетрясений. Исследуемая территория должна охватывать всю сейсмоактивную структурную систему ($52 \times 15^\circ$) и, как минимум, половину размера системы на юг, север, запад, восток, учитывая вероятное смещение признаков полей на края сейсмоактивной системы. Для надежного прогнозирования сейсмической активности исследуемой системы периодические синхронизированные наблюдения признаков полей необходимо вести на территории 30° по меридиану (от 33° до 63° с. ш.) и 80° вдоль широты (от 100 до 180° в. д.) по сети $2 \times 1^\circ$ (примерно 150×110 км) с таким расчетом, чтобы на отдельную САС приходилось 5—12 пунктов наблюдения. В качестве признаков полей необходимо использовать деформации дневной поверхности (гипсометрия и градиенты ее изменения) и аномалии магнитного поля, фиксируемые с помощью

.....

Рис. 2. Карта плотности гипоцентров землетрясений Курило-Камчатского региона. Изолинии плотности (%) с глубиной очагов: 1 — 8—42 км (243 землетрясения); 2 — 81—160 км (88 землетрясений); 3 — 410—600 км (70 землетрясений).

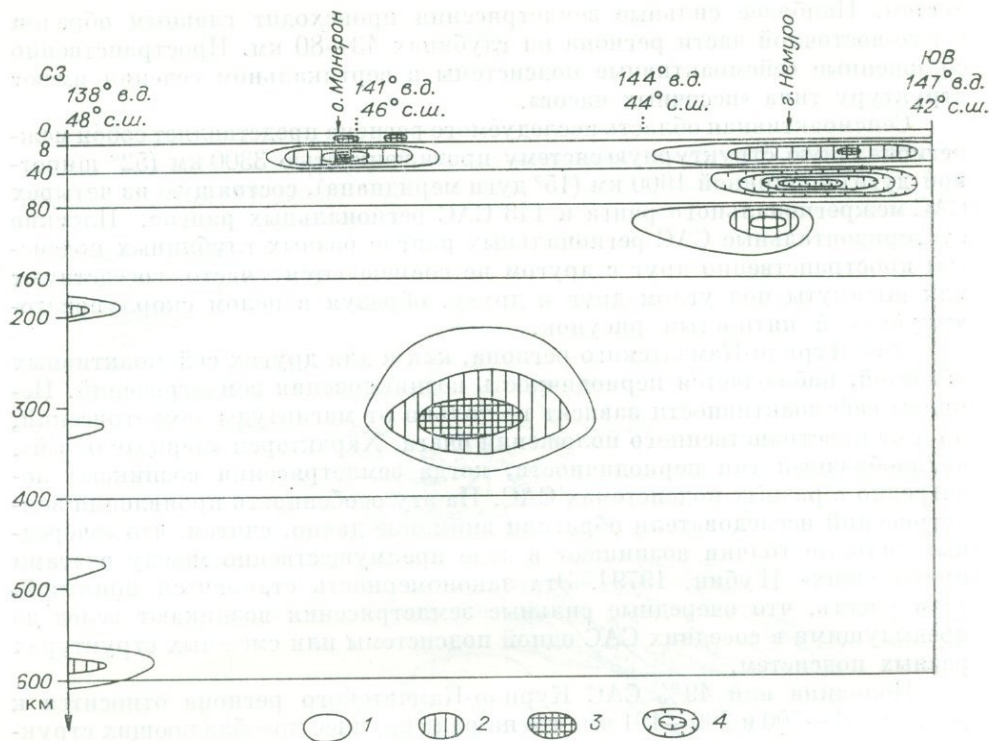


Рис. 3. Размещение сейсмоактивных структур в разрезе Курило-Камчатского региона. Ареалы плотности гипоцентров землетрясений: 1 — от 1 до 5%; 2 — от 5 до 10%; 3 — более 10%; 4 — изолинии плотности очагов катастрофических землетрясений с $M = 7,6-8,7$.

спутников. Накопление тектонических напряжений в САС, подсистемах или системе сопровождается как деформацией дневной поверхности (ДДП), так и увеличением площади и относительной интенсивности отрицательного спутникового поля. Относительное повышение точности ДДП может быть достигнуто установкой угловых отражателей в пунктах наблюдений и использованием лазерных сканирующих спутниковых систем. Целевое исследование периодичности землетрясений для САС разных подсистем, чередования событий в разных САС и землетрясений разной магнитуды совместно с периодичностью изменений спутникового магнитного поля и ДДП позволит повысить точность предсказания времени и места возникновения землетрясений.

ЛИТЕРАТУРА

- Богацкий В. В., Витязь В. И., Кулыдышев В. А. Дистанционная информация как возможная основа прогноза областей проявления крупнейших землетрясений. — В кн.: Тезисы докладов Тихоокеанского международного конгресса. Хабаровск, 1979, с. 38.
- Богацкий В. В., Коллеганов Ю. М., Суганов В. И. Пространственно-статистический анализ геологического строения и размещения полезных ископаемых. — М.: Недра, 1976. — 105 с.
- Витязь В. И. Периодичность размещения геологических структур платформенных областей Сибири. — М.: Недра, 1982. — 176 с.
- Губин И. Е. Закономерность в дифференциации сейсмогенных зон, обусловленных разрывами земной коры. — Докл. АН СССР, 1979, т. 248, № 1, с. 166—169.
- Косыгин Ю. А. Понятие структуры в геологических исследованиях. — Геология и геофизика, 1970, № 4, с. 3—18.
- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. — М.: Наука, 1977. — 526 с.
- Садовский М. А. О деятельности Института физики Земли. — Вестн. АН СССР, 1977, № 12, с. 3—16.
- Садовский М. А. Естественная кусковатость горной породы. — Докл. АН СССР, 1979, т. 247, № 4, с. 829—831.

Г. С. ГУСЕВ, В. С. ИМАЕВ, Л. П. ИМАЕВА,
Б. М. КОЗЬМИН, Л. М. ПАРФЕНОВ

СЕЙСМОАКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ ОЛЕКМО-СТАНОВОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗОНЫ В РАЙОНЕ ТОКИНСКОГО СТАНОВИКА

(по результатам дешифрирования космических снимков)

Олекмо-Становая сейсмическая зона, протягивающаяся в субширотном направлении на 800 км от бассейна р. Олекмы на западе до Удской губы Охотского моря на востоке, приурочена к южной окраине Алданского щита Сибирской платформы. Она представляет собой восточное окончание протяженного Байкало-Станового сейсмического пояса, отделяющего Евразийскую плиту на севере от Амурской плиты на юге [Зоненшайн, Савостин, 1979]. Земная кора его западного — Байкальского — фланга находится в условиях растяжения. Об этом свидетельствуют результаты определений ориентировки напряжений в очагах землетрясений Прибайкалья [Мишарина, 1967], наличие рифтовых впадин байкальского типа, широкое распространение молодых базальтов. Согласно расчетам, полюс относительного вращения Евразийской и Амурской плит располагается в междуречье Олекмы и верховьев Токко [Зоненшайн и др. 1978]. Из этого следует, что в Олекмо-Становой сейсмической зоне, расположенной к востоку от полюса вращения, должны преобладать условия сжатия. С таким выводом согласуются имеющиеся здесь единичные определения ориентировки напряжений в очагах землетрясений [Козьмин, 1978], неотектонические и геоморфологические данные [Долгушин, 1971].

Олекмо-Становая зона обладает высоким сейсмическим потенциалом. Уровень сейсмической опасности отдельных ее участков оценивается в 8—9 баллов [Сейсмическое районирование..., 1980; Сейсмотектоника..., 1982]. Одним из высокоактивных участков зоны является ее восточное окончание — Токинский Становик, который характеризуется альпийским рельефом, интенсивными неотектоническими движениями, наличием крупных разрывных нарушений.

Горный массив Токинского Становика представляет собой блок архейских пород, поднятый на высоту 2100—2300 м и ограниченный активными в настоящее время разломами. Амплитуды вертикальных тектонических движений по его северной границе составляют 1000—1200 м, на остальных участках до 500—700 м. Интенсивные дифференцированные восходящие движения Токинского Становика обусловили резкую расчлененность его рельефа и крутизну склонов. В его пределах устанавливаются сейсмогравитационные оползни, срывы, обвалы (верховья р. Сам-Анчикит и бассейн р. Бол. Туксани) [Сейсмотектоника..., 1982].

По Южно-Токинскому надвигу горный массив Токинского Становика эрозионно-тектоническим уступом высотой до 1100 м сочленяется с примыкающей к нему с севера Токинской впадиной, характеризующейся спокойным платообразным рельефом, сформированным на песчано-сланцевых отложениях юры и нижнего мела. На фоне слабодифференцированного платообразного рельефа Токинской впадины к юго-западу от устья р. Туксани поднимается несколько низкогорных возвышенностей, которые в северо-восточном направлении антецендентно прорезаются р. Алгама.

Сейсмичность Токинского Становика контролируется пятью сейсмическими станциями Якутии и Приамурья, ближайшая из которых расположена в 130—150 км от оз. Бол. Токо, в пос. Бомнак. Существующая система наблюдений позволяет фиксировать здесь все подземные толчки, имеющие энергию в очаге 10^9 Дж и выше. Местоположение эпицентров землетрясений Токинского Становика определялось главным образом способом засечек по временам пробега поперечных сейсмических волн.

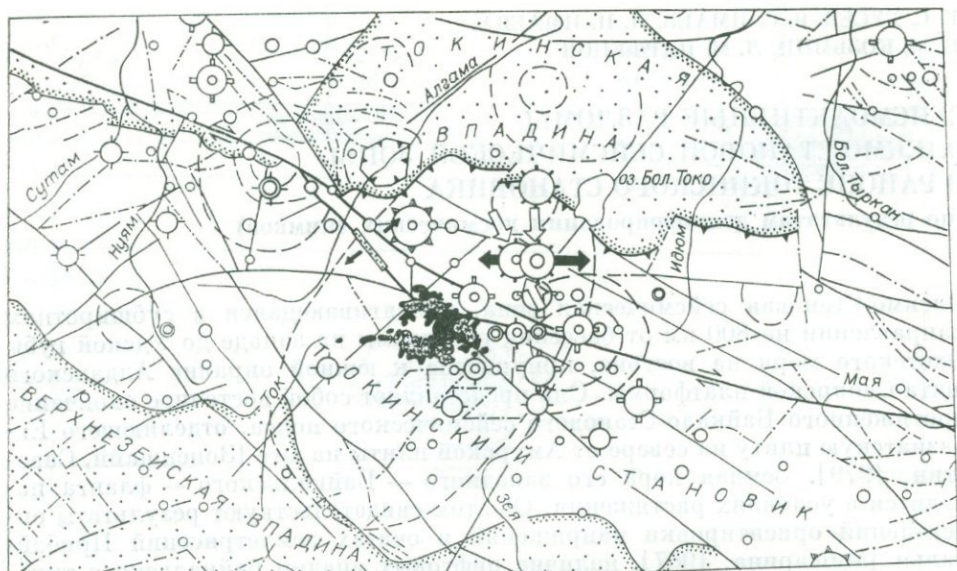


Рис. 1. Схема разломной тектоники района Токинского Становика по данным космодифференцирования.

1 — сдвиги; 2 — надвиги; 3 — кольцевые структуры; 4 — поле кайнозойских базальтов; 5 — мезозойско-кайнозойские впадины и прогибы; 6 — разломы неустановленной кинематики; 7 — напряжения в очагах землетрясений (черные стрелки — сжатие, белые — растяжение); 8 — эпицентры землетрясений соответственно 13—14, 12, 11, 10, 9, 8 и менее энергетических классов.

Точность привязки эпицентров на местности составляла 5, 10 и 25 км (соответственно классы точности «а», «б» и «А»). Энергетический класс землетрясений K рассчитывался по номограмме Т. Г. Раутиан [Методы..., 1960]. Ввиду удаленности (более 100 км) пунктов наблюдений от района исследований глубина возникновения очагов землетрясений не оценивалась. Для западной и центральной частей Олекмо-Становой сейсмической зоны глубины очагов оцениваются в 7—31 км.

Ежегодно в районе Токинского Становика записывается в среднем 20—30 сейсмических событий. За весь период инструментальных исследований (1937—1981 гг.) в этом районе отмечено около 250 землетрясений. Два из них (Токинское 1937 г. и Джугдырское 1939 г.) с энергией в очаге 10^{13} — 10^{14} Дж могли ощущаться в эпицентре с силой 7—8 баллов. Здесь выявлено около 30 толчков с возможными макроэффектами в эпицентре до 6 баллов. Энергия таких сотрясений в очаге составляла 10^{10} — 10^{12} Дж.

Основное скопление землетрясений отмечается в центральной части Токинского Становика вблизи поля кайнозойских вулканов. На остальных участках района наблюдается примерно одинаковый ореол сейсмичности с равномерным распределением эпицентров землетрясений по всей территории. Исключение составляет Токинская впадина, которая практически асейсмична. На схеме разломной тектоники района Токинского Становика (рис. 1) показаны эпицентры землетрясений с энергией в очаге 10^8 — 10^{14} Дж (энергетический класс $K = 8$ —14).

На мелкомасштабных снимках системы «Метеор» в районе Токинского Становика устанавливаются два протяженных прямолинейных разлома субширотного простирания: Атугей-Нуямский на западе и Майский на востоке, которые соединяются диагональной перемычкой северо-западной ориентировки в бассейне верхнего течения р. Алгма (см. рис. 1).

Атугей-Нуямский разлом протягивается на 200—250 км. На снимках он выражен контрастной полосой фототона, отвечающей резкому уступу в рельефе. Этот разлом прослежен в процессе геологической съемки вдоль

северного борта узкой линейной Атугей-Нуямской впадины, выполненной юрскими угленосными отложениями.

Майский разлом протягивается на 350—400 км до Удской губы на востоке. Он дешифрируется на космоснимках единой линией западо-северо-западного направления, к которой приспособились притоки и изгибы рек. Это направление выдерживается на большом его протяжении, пересекая водоразделы и подчиняя себе элементы гидросети. На водоразделах нарушение фиксируется в виде борозд, ложбин и полос. Как единое разрывное нарушение этот разлом на существующих геологических картах отсутствует, хотя отдельные его фрагменты показаны и картируются в виде зон катаклаза и милонитизации.

Диагональная перемычка протяженностью 80—95 км выражена двумя субпараллельными линиями. К ней приурочен узкий клинообразный Туксанинский грабен (3×30 км в размере), выполненный песчаниками, алевролитами и аргиллитами среднеюрского возраста. Грабен, по-видимому, является останцом более обширного покрова юрских отложений, сохранившихся от размыва в щелевидной просевшей зоне. Прямолинейность Атугей-Нуямского и Майского разломов сохраняется на всем их протяжении и даже при переходе с водоразделов в смежные речные долины при превышениях 400—600 м. Это может быть свидетельством крутого залегания плоскостей сместителей разломов. Прямолинейность, крутое залегание и общий структурный рисунок разломов позволяют определить их как правые сдвиги. Разделяющая их диагональная перемычка при этом представляет собой локальную зону растяжения, ограниченную трещинами отрыва, которая возникла в месте окончания Майского сдвига. К ее юго-восточному окончанию приурочено единственное в пределах Токинского Становика поле щелочных базальтов миоцен-раннеплейстоценового возраста, в пределах которого установлено около 20 вулканических центров [Сейсмотектоника..., 1982].

Непосредственные данные о величинах горизонтальных перемещений по сдвигам отсутствуют. Судя по большой ширине (около 10 км) присдвиговой зоны растяжения, отчетливой выраженности на снимках линий главных сдвиговых нарушений и большой их протяженности, такие перемещения могут составлять не менее нескольких десятков километров.

Тектоническая структура, устанавливаемая на основе дешифрирования космических снимков, имеет отчетливую корреляционную связь с эпицентрами землетрясений. Наиболее наглядно эта связь устанавливается при пространственном сопоставлении разломов с плотностью эпицентров землетрясений этого района (рис. 2).

Схема плотности эпицентров землетрясений Токинского Становика построена на основе представительных инструментальных сведений о землетрясениях с 1937 по 1981 г. При этом уровень представительности для отдельных периодов наблюдений был разным. Так, в 1937—1964 гг. без пропусков в этом районе фиксировались подземные толчки с $K \geq 13$ —14, в 1964—1968 гг. с $K \geq 12$, в 1969—1975 гг. с $K \geq 10$ —11, в 1976—1981 гг. с $K \geq 9$. Всего при составлении схемы использованы данные о 136 землетрясениях.

Исходя из имеющейся выборки сейсмологических материалов в соответствии с правилами математической статистики [Миллер, Кан, 1965], весь район исследований был разделен на 300 квадратных участков. Размер одного участка 15×15 км. Для узлов сетки находились значения плотности эпицентров землетрясений, представляющей собой количество толчков, приходящихся на единицу площади. Точки с одинаковыми значениями плотности эпицентров соединялись единой изолинией. Такие изолинии плотности показаны на схеме, куда также нанесены трассы Атугей-Нуямского и Майского разломов. На рис. 2 отчетливо видно, что максимум плотности со значениями более 15 тяготеет к западному окончанию Майского разлома.

Из экспериментальных данных о развитии разломов и трещин следует, что напряжения концентрируются на их окончаниях, трещины растут,

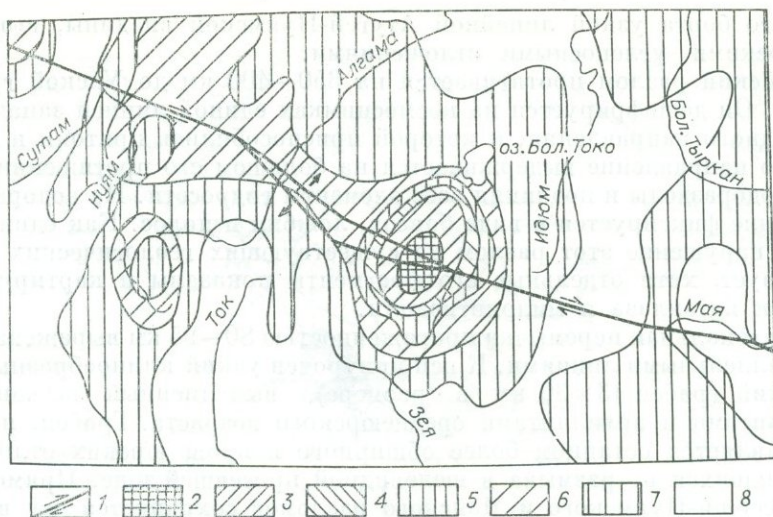


Рис. 2. Схема плотностей эпицентров землетрясений с $K = 9$ в районе Токинского Становика.

1 — сдвиги; 2—8 — величина плотности эпицентров землетрясений: 2 — 15, 3 — 12—15, 4 — 9—12, 5 — 6—9, 6 — 3—6, 7 — 1—3, 8 — 1.

продвигаясь вперед по простиранию от места окончания [Гзовский, 1975]. При этом в местах окончания разломов следует ожидать появления концентрических кольцевых разрывных нарушений [Косыгин и др., 1981]. Примечательно, что нарушения такого типа дешифрируются вблизи окончаний Атугей-Нуямского и Майского разломов в местах их сочленения с перемычкой (см. рис. 1). На снимках они выражены в виде прерывистых овалов и колец, подчеркнутых эрозионными ложбинами и мелкими водотоками. Диаметр кольцевых структур составляет около 50 км.

В пределах рассматриваемого района наряду с охарактеризованными сдвигами сейсмогенным является также расположенный в 30—40 км к северу Южно-Токинский надвиг, по которому архейские кристаллические образования надвинуты на юрские континентальные отложения Токинской впадины. Он имеет субширотное простирание и небольшие углы падения ($5-10^\circ$). В бассейне р. Алгама устанавливается клипп архейских кристаллических пород, полого залегающий на интенсивно перемятых и разлинзованных красноцветных песчаниках протерозоя и угленосных породах средней юры. Величина горизонтального перемещения (шарьяжирования) архейских пород на мезозойские составляет, по-видимому, не менее диаметра этой архейской пластины, т. е. 10—15 км [Имаев, 1983]. На его современную активность указывают наличие эрозионной ложбины во фронтальной части разлома и контрастный прямолинейный уступ в рельефе [Долгушин, 1971]. Существование здесь современного надвига подтверждается анализом механизма очагов двух сильных землетрясений Токинского Становика, происшедших в 1977 и 1979 гг. с $K = 12$. Механизм очагов этих землетрясений определялся по стандартной методике [Поле..., 1972]. Данные о знаках первых вступлений прямой и головной продольных волн наносились на сетку Вульфа в проекции на нижнюю полусферу. При этом были использованы сведения 30 сейсмических станций Якутии, Прибайкалья, Приамурья и Магаданской области. На рис. 1 показана ориентация напряжений сжатия и растяжения (соответственно белые и черные стрелки) в очагах землетрясений, происшедших севернее диагональной перемычки и тяготеющих к зоне влияния Южно-Токинского надвига. Сжимающие усилия в очагах обоих толчков действовали субдолготно, а растягивающие — близширотно. Параметры плоскости разрыва, следующие из диаграмм механизма очагов, показывают, что ее азимут простирания равен 300° (северо-западное направление)

и она наклонена к горизонту под углом 50° на юго-юго-запад. Подвижки в очагах Токинских землетрясений представляют собой надвиги, при этом горизонтальная компонента этих движений соответствует правым сдвигам. Это совпадает с морфокинематической характеристикой Южно-Токинского надвига по геологическим данным [Горнштейн, Петров, 1976] и не противоречит предложенному нами механизму образования местных морфоструктур.

Атугей-Нуямский и Майский сдвиги, а также Токинский надвиг, возможно, образуют единую динамическую разрывную систему. Как показал И. Лоуэл [Lowell, 1972], сближение двух континентальных плит под некоторым углом друг к другу приводит к формированию над областью сдвига поднятия, обусловленного подъемом избыточного вещества, вытесненного смещающимися блоками (это самое легкое разгрузочное направление для теснящегося материала). Образованное таким путем поднятие характеризуется продольным сдвигом и ограничено с одной или обеих сторон надвигами. В качестве такого поднятия может рассматриваться горная система Токинского Становика, которая на севере надвигается на современную Токинскую депрессию.

Таким образом, сближение Евразийской и Амурской плит, обусловившее появление Олекмо-Становой сейсмической зоны, сопровождалось образованием в районе Токинского Становика крупных сдвигов, надвигов и формированием горных сооружений. Все это, несомненно, отразилось на уровне сейсмичности, которая проявляется здесь в виде местных землетрясений, интенсивность которых может достигать 8 баллов. Анализ космических снимков в данном районе является эффективным средством распознавания крупных тектонических нарушений, определения их кинематики и выяснения взаимосвязей с сейсмичностью.

ЛИТЕРАТУРА

- Гзовский М. В. Основы тектонофизики. — М.: Наука, 1975. — 535 с.
- Горнштейн Д. К., Петров А. Ф. Морфокинематическая характеристика разломов восточной части Сибирской платформы. — В кн.: Разломная тектоника территории Якутской АССР. — Якутск: изд. ЯФ СО АН СССР, 1976, с. 136—149.
- Долгушин И. Ю. Лено-Алданское плато и Алданское нагорье. — В кн.: Плоскогорья и низменности Восточной Сибири. — М., 1974, с. 53—68.
- Зоненшайн Л. П., Савостин Л. А. Введение в геодинамику. — М.: Недра, 1979. — 311 с.
- Зоненшайн Л. П., Савостин Л. А., Мишарина Л. А., Солоненко Н. В. Тектоника плит Байкальской горной области и Станового хребта. — Докл. АН СССР, 1978, т. 240, № 3, с. 669—672.
- Имаев В. С. Мезозойско-кайнозойская тектоника, поля напряжений и сейсмичность Южной Якутии. Автореф. канд. дис. — Якутск, 1983. — 17 с.
- Козьмин Б. М. Механизм очагов сильных южноякутских землетрясений. — В кн.: Сейсмические и сейсмогеологические исследования на центральном участке БАМа. Якутск: изд. ЯФ СО АН СССР, 1978, с. 59—71.
- Косыгин Ю. А., Юшманов В. В., Маслов Л. А. К вопросу о механизме формирования и локализации концентрических комплексов (кольцевых структур). — Геология и геофизика, 1981, № 6, с. 20—28.
- Методы детального изучения сейсмичности/Отв. ред. Ю. В. Ризниченко. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. — 114 с.
- Миллер Р. Л., Кан Дж. С. Статистический анализ в геологических науках. — М.: Мир, 1965. — 481 с.
- Мишарина Л. П. Напряжения в земной коре в рифтовых зонах. — М.: Наука, 1967. — 136 с.
- Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений (результаты исследований по международным геофизическим проектам)/Балакина Л. М., Введенская А. В., Голубева Н. В. и др. — М.: Наука, 1972. — 191 с.
- Сейсмическое районирование территории СССР. — М.: Наука, 1980. — 307 с.
- Сейсмо-тектоника, вулканы и сейсмическое районирование хребта Станового/Николаев В. В., Семенов Р. М., Семенова В. Г. и др. — М.: Наука, 1982. — 150 с.
- Тектоника Якутии. — Новосибирск: Наука, 1975. — 198 с.
- Lowell I. D. Spitsbergen Tertiary orogenic belt and Spitsbergen fracture zone. — Bull. Geol. Soc. Amer., 1972, v. 83, N 10, p. 3091—3101.

III раздел

АППАРАТУРНО-АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

В. А. ЗАБЕЛИН, В. П. ПЯТКИН

ТРАНСФОРМАЦИЯ И СОВМЕЩЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ГЕОЛОГИИ

Развитие математического обеспечения обработки аэрокосмических изображений позволило создать широкий набор алгоритмов и программ, дополняющих функциональные возможности системы в области тематической и сервисной обработки аэрокосмических снимков. Здесь рассматриваются следующие из них:

- сдвиг и поворот изображений;
- приведение изображений к единому масштабу;
- трансформация изображения в требуемую проекцию по опорным точкам;
- совмещение изображений с различными картами, схемами и т. п.;
- программный интерфейс между пользователем и системой.

В вычислительном центре СО АН СССР разработаны и сданы в ГосФАП пакеты прикладных программ (ППП) для ЕС ЭВМ, ЭВМ БЭСМ-6, однако необходимость интерактивной обработки обусловила, а технические возможности центра обработки геоинформации (ЦОГИ) ВЦ позволили перенести часть программ ППП на ЭВМ СМ-4 с дальнейшим развитием их в комплекс программ обработки многозональной информации («ПОМНИ»). Возможности терминального комплекса «ОМЕГА» — СМ-4 хорошо освещены в печати. Здесь описана часть его функций, необходимая для дальнейшего понимания изложенного материала.

Терминал «ОМЕГА» — часть комплекса, предназначенная для обработки и воспроизведения цифровых изображений. Количество совместно обрабатываемых изображений — 3. Максимальный размер каждого изображения 512×512 элементов с разрешением по плотности 8 бит. Исходные и результирующие изображения могут отображаться на экране телевизионного монитора в истинном или условном цвете. В черно-белом варианте — с дискретизацией до 256 уровней градаций [Калантаев и др., 1984].

Исходная информация для комплекса может быть получена с магнитных носителей: МЛ с информацией в формате ЕС ЭВМ, с МД СМ-4 или БЭСМ-6; посредством видиконной камеры; с фотоносителей при помощи устройства Фотомейшн; с ИСЗ «Метеор» через канал связи.

Кроме видиконной камеры и канала с ИСЗ, информация может быть выведена на все вышеуказанные устройства, а также на экран цветного полутонового дисплея Д-200 или «ОМЕГА» [Алексеев и др., 1984].

В наиболее общей постановке решение прикладных задач геологии с привлечением данных дистанционного зондирования Земли на базе современных ЭВМ, вычислительных систем и комплексов идет в двух взаимозависимых направлениях: индикация, обнаружение (с последующим описанием специалистом) геологических объектов на аэрокосмических изображениях; определение местоположения изучаемого объекта на поверхности Земли, т. е. определение его географических координат. Впол-

не очевидно, что задача в ее полной постановке трудно разрешима. Отсюда следует оценка результатов решения по двум критериям [Боровиков, 1983]: достоверность результатов решения; геологическая информативность. «Информативность обычно понимается как отношение новой оригинальной информации к общей сумме полученной (или имеющейся по району) геологической информации» [Внучкова, Усиков, 1983; Забелин, Пяткин, 1980; Тищенко, Головчин, 1979].

Привлечение ЭВМ к обработке аэрокосмических изображений обусловлено большим числом снимков, требующих анализа, огромным количеством содержащейся на них информации. При успешном применении вычислительной техники вследствие большого набора обработанных снимков повышается достоверность полученных результатов и увеличивается информативность модели участка поверхности Земли, анализируемого по космическим снимкам. Выявление геологических объектов производится по изменению фототона для односпектральных снимков и/или по анализу спектральных компонент регистрируемого излучения в многозональном случае. Мы рассматриваем действия с видеоинформацией, позволяющие сопоставить выявленные объекты друг с другом, с имеющимися данными на картах, схемах и т. п.

В основе всех перечисленных в начале работы функциональных возможностей лежат геометрические преобразования, определяющиеся следующим образом. По исходному изображению $I_0(x, y)$ требуется построить некоторое изображение $I(z(x, y), t(x, y))$ в соответствии с известным правилом или законом.

Пусть для каждого элемента исходного дискретизированного изображения с координатами (n, m) ищутся и находятся новые координаты $(z(n\Delta x, m\Delta y), t(n\Delta x, m\Delta y))$ и найденному элементу нового изображения присваивается значение исходной яркости старого изображения. При таком отображении, не являющемся биективным, метод приводит к получению так называемого изображения с выколотыми точками, в котором не каждой точке конструируемого изображения находится преобраз. Поэтому более предпочтителен другой путь, при котором для каждого элемента нового изображения ищется соответствующий ему элемент исходного. Очевидно, что в этом случае одному элементу исходного изображения могут соответствовать два и более элементов результирующего изображения. Формально это записывается следующим образом. Для каждого элемента с координатами (k, l) преобразованного изображения находятся его координаты $(x(k\Delta z, l\Delta t), y(k\Delta z, l\Delta t))$ в исходном изображении $I_0(x, y)$ и по определенному закону вычисляется и приписывается значение результирующему изображению.

Это может быть принцип ближайшего соседа: $I = \min \{ \rho((x, y), ([x] + 1, [y])), \rho((x, y), ([x], [y] + 1)), \rho((x, y), ([x] + 1, [y] + 1)) \}$ — или любой другой подходящий способ интерполяции. Здесь $\Delta z, \Delta t$ — шаг дискретизации изображения, квадратные скобки означают целую часть числа.

Информация, поступающая с борта ИСЗ, несет геометрические искажения за счет кривизны поверхности Земли, движения спутника и колебаний его ориентации. Существуют достаточно точные методы установления соответствия между географическими координатами объекта и его местоположением в поле снимка. Однако для многих практических задач высокой точности не требуется, а возможности устройств лимитированы, поэтому одним из возможных и эффективных способов преобразования изображения является преобразование по опорным точкам. Суть его поясним на конкретном примере. Предположим, что снимок с борта ИСЗ требуется преобразовать в некоторую проекцию. На исходном изображении задаются так называемые контрольные точки, географические координаты которых легко определяются. Такими точками бывают: места слияния рек, небольшие озера, характерные изгибы рек или береговой линии, антропогенные образования и т. п. Для совмещения по опорным точкам со сдвигом и поворотом отыскивается не менее двух опорных точек

на одном и другом изображениях. Пересчет машинных координат точек снимка позволяет произвести совмещение одной из пар контрольных точек, относительно которой затем производится поворот на известный угол. Следующий возможный шаг — изменение масштаба одного из снимков.

Программный интерфейс комплекса СМ-4 — «ОМЕГА» позволяет подвести курсор в требуемое место, после чего экранные координаты запоминаются ЭВМ. Обычно число опорных точек колеблется в пределах 9—27. В общем случае, имея две последовательности координат — экранных $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots$ и географических $(ш_1, д_1), (ш_2, д_2), \dots$, по известному закону в соответствие географическим координатам, или координатам одного из снимков, ставятся экранные координаты нового, результирующего изображения, т. е. реализуется зависимость $(z(ш_1, д_1), t(ш_1, д_1)), (z(ш_2, д_2), t(ш_2, д_2)), \dots$. Определение яркости элементов нового изображения производится по уже описанному способу или любому другому.

Более эффективным для последующей интерпретации является совмещение изображений с тематическими, морфологическими, сейсмическими, гравитационными и тому подобными картами, а также схемами, планами и т. д. В этом случае каждой опорной точке исходного снимка ставится в соответствие объект на совмещаемом изображении. Отождествление опорных точек производится либо оператором на экране дисплея посредством курсора для каждого изображения и каждой пары точек, либо полуавтоматически. В последнем случае после подведения курсора на достаточно близкое расстояние от отыскиваемой опорной точки включается программа поиска, реализуются следующие действия:

— для каждой точки в области поиска ищется сумма рассогласований

$$E(i, j) = \sum_{l, m=1}^M |W(l, m) - S_M^{ij}(l, m)|;$$

— выбор точек (l, m) на эталоне и в области поиска производится при помощи датчика случайных чисел;

— после каждого суммирования рассогласование $E(i, j)$ сравнивается с заданным порогом, при превышении его точка (i, j) в области поиска отбрасывается как неперспективная;

— для точек, рассогласование которых не превысило порог после определенного количества суммирований, производится поиск расстояния для всех точек (l, m) из области поиска S_M^{ij} ;

— точка с минимальным рассогласованием принимается за опорную точку.

Наиболее простым и в то же время действенным способом трансформации в совокупности с совмещением является метод «резинки». В этом случае изображение строится из исходного по следующему закону:

$$x = \sum_{i=1}^M \Delta x_i / \rho(|x - x_i|) \bigg/ \sum_{i=1}^N 1/\rho(|x - x_i|),$$

где $x = (x^1, x^2)$; N — число опорных точек; Δx_i — перемещение i -й опорной точки; Δx — перемещение данной точки x ; $\rho(|x|) = \sqrt{(x^1)^2 + (x^2)^2}$ или любая другая мера.

Реализация вышеописанных методов позволяет решать следующие задачи, затронутые в данной работе:

1) совмещение изображений, полученных в разных диапазонах съемки; в этом случае осуществляется лишь сдвиг одного изображения относительно другого или сдвиг и поворот одновременно;

2) совмещение изображений, полученных при одновременных условиях съемки;

3) совмещение изображений с картами;

4) привязка космоснимка к местности;

5) приведение космического снимка в заданную проекцию.

Таким образом, созданное математическое обеспечение обработки аэрокосмических изображений на базе ЭВМ СМ-4 в совокупности со специализированным цветным полутонным терминалом «ОМЕГА» позволяют обеспечить интерактивное взаимодействие человека с вычислительной машиной, дать пользователю точный инструмент для работы с изображениями, ускорить процесс от получения данных дистанционного зондирования Земли до извлечения практической информации для нужд народного хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев А. С., Дементьев В. Н., Калантаев П. А. и др. Аппаратно-программное обеспечение Регионального центра автоматизированной обработки аэрокосмических изображений. — В кн.: Космические методы изучения природной среды Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1983, с. 115—125.
- Боровиков А. М. Достоверность дешифрирования и интерпретации космоснимков по прямым и косвенным признакам. — В кн.: Космические методы изучения природных ресурсов Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1983, с. 83—100.
- Внучкова Т. А., Усиков Д. А. Алгоритм произвольной геометрической деформации. — М.: изд. Ин-та космических исследований АН СССР, 1983. — 32 с.
- Забелин В. А., Пяткин В. П. Идентификация контрольных точек в аэрокосмических изображениях. — В кн.: Математические и технические проблемы обработки изображений. Новосибирск: изд. ВЦ СО АН СССР, 1980, с. 50—59.
- Калантаев П. А., Михальцов Э. Г., Пяткин В. П. и др. Использование системы СМ-4 «ОМЕГА» при контроле и редактировании цифровой информации о местности. — Исследование Земли из космоса, 1984, № 3, с. 106—114.

Б. В. ВИНОГРАДОВ

АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ МНОГОЛЕТНЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТРЕНДА

Тренд (направленный процесс) — это такое изменение экосистемы, при котором состояние системы не повторяется в любом масштабе времени, а направление ее дрейфа сохраняется как в пределах малых (день, неделя), так и больших интервалов времени (десятилетия, века).

Аэрокосмическая съемка экологического тренда. При исследовании многолетней динамики экосистем по повторным аэрокосмическим снимкам мы сталкиваемся с флюктуацией разной периодичности: не только суточной, погодной и сезонной, но и разногодичными колебаниями гидрометеорологической, фитофенологической и даже хозяйственной ситуации. Эта флюктуация накладывается на направленный процесс (тренд), иногда существенно маскируя его. Выделить тренд среди различного рода краткo-периодических колебаний — задача экологического мониторинга. Причем нас интересует главным образом многолетний тренд средней продолжительности — 5—25 лет, т. е. в масштабе времени хозяйственного планирования и экологического прогнозирования.

Экологический тренд может быть обусловлен разными причинами: солнечно-земными (циклы солнечной активности), гидрометеорологическими (многолетние изменения увлажненности и температуры), геолого-геоморфологическими (тектонические процессы, эрозионные циклы) и антропогенными (сельскохозяйственное, лесохозяйственное и гидромелиоративное освоение, прирост населения, последствия хозяйственного освоения). Антропогенные факторы в настоящее время являются основными в формировании экологического тренда. Например, как показало сравнение повторных аэрофотоснимков одного из устойчивых лесо-болотно-полевых экорегионов Средне-Латвийской покатости, антропогенные факторы обус-

ловливают 81% площади всех переходов экосистем и лишь 19% определяются естественными сукцессиями, да и то вторичными.

Ввиду того, что разные экосистемы имеют разную скорость сукцессионных и катастрофических смен, необходимая повторность аэрокосмических съемок для выявления экологического тренда определяется динамичностью экосистем [Виноградов, 1966].

С т а б и л ь н ы е экосистемы — это главным образом коренные или условно коренные, подверженные преимущественно ценодинамическим сукцессиям. Полуприродные модификации с вторичными ценодинамическими сукцессиями занимают не более 10% площади. Сильно измененные экотехнические системы незначительны, их площадь менее 1%. Аэрокосмические съемки таких экосистем достаточны для выявления тренда раз в 10—15 лет.

Относительно **у с т о й ч и в ы е** экосистемы подвержены экстенсивному сельскохозяйственному, лесохозяйственному и пастбищному использованию с приростом площадей до 1% в год (т. е. в пределах минимального достоверно измеряемого контура). Пастбища, поля, плантации занимают значительную часть экосистемы, но при этом не возникают ускоренные ветро- и водноэрозионные процессы и не происходит перестройки консервативных компонент. В пастбищных экосистемах нарушения не превышают 9% площади. В лесохозяйственных экосистемах обеспечивается баланс между рубками леса и приростом древесины. В этот класс включаются также экосистемы с экологическими трендами, связанными с вторично антропогенными климато- и гидрогенными сукцессиями, например с опустыниванием. Аэрокосмическая съемка устойчивых экосистем производится не реже чем раз в 7—10 лет.

Д и н а м и ч н ы е экосистемы расположены на интенсивно осваиваемых полевых, плантационных и мелиоративных территориях с широким развитием парагенетических воздушно- и воднозагрязненных и вторично антропогенных водно- и ветроэрозионных процессов, значительными площадями высоких степеней антропогенной модификации и заметным включением экотехнических систем. Это районы с критическим состоянием окружающей среды, кратковременными сукцессиями и антропогенными сменами с приростом освоенных площадей более 2% в год. Аэрокосмические съемки должны производиться не реже раза в 3—5 лет.

Наконец, выделяются **п е р е х о д н ы е** экосистемы с катастрофическими сменами и сильным антропогенным воздействием, приводящим к резким изменениям состава. Они включают быстро развивающиеся городские, промышленные, водостроительные, горно-технические, транспортно-линейные системы. Сюда относятся также природные системы с катастрофическими экодинамическими сменами: размывание склонов, пожары лесов, повреждения вредителями и т. п. Переходные экосистемы подлежат частой аэрокосмической съемке каждые 1—3 года.

Аналогичные рекомендации частоты мониторинга изменений разных классов использования земель составлены Геологической службой США [Anderson, 1977]: съемка раз в 4 года и менее для мониторинга городских и застраиваемых динамичных территорий, раз в 5—7 лет — площадей с критическими условиями природной среды и освоением энергетических ресурсов, раз в 8—12 лет — сельскохозяйственных, пастбищных и лесных устойчивых земель.

Для выявления экологического тренда необходима математическая аппроксимация динамики экосистем, которая сглаживает ход изменений и очищает его от разногодичных флюктуаций. Для аппроксимации экологического тренда нужно в первую очередь выбрать оптимальную формулу для описания изменений экосистем. Существующие картографические и цензовые источники информации о пространственной структуре экосистем не удовлетворяют нашим требованиям из-за недостаточной их достоверности. Лишь использование аэрокосмических снимков обеспечивает нас достоверной информацией о структуре экосистем в зависимости от состава индикаторных признаков. Поэтому, аппроксимируя многолетнюю

динамику экосистем, мы используем только те признаки, которые хорошо распознаются на аэрокосмических снимках с достоверностью 90—99%.

Наиболее эффективен проводимый в последние годы анализ тренда элементарных систем по повторным аэрокосмическим снимкам одной и той же территории, т. е. измерение хода изменения площади полей, лесов, разбитых песков и т. п. в течение представительных интервалов времени.

Линейный экологический тренд. В первое десятилетие развития космического землеведения, ввиду недостаточной повторности (главным образом двукратной) аэрокосмических съемок одной и той же территории, использовались преимущественно линейная аппроксимация экологического тренда. Правда, не всегда линейная аппроксимация определяется недостаточностью данных, иногда она соответствует экологической сущности тренда и подтверждается многократными аэрокосмическими съемками. Первый такой космический эксперимент многократной съемки многолетней динамики структуры использования земель устойчивой экосистемы был проведен на Сальском сухостепном полигоне Ростовской области [Виноградов и др., 1979; Виноградов, Севастьянов, 1981]. По аэрокосмическим снимкам 1962, 1970 и 1978 гг. был вычислен временной ход отчуждения сельскохозяйственных земель под строительство, дороги и с другими, несельскохозяйственными, целями. Отчуждение земель за период 1962—1978 гг. происходит весьма медленно и аппроксимируется линейной функцией

$$Y_1 = a(X_i - X_0), \quad (1)$$

где Y_1 — относительная площадь отчужденных земель в экосистеме, %; X_i — текущий год регистрации; X_0 — условный год начала процесса; a — градиент изменения площади, % в год.

В исследованной экосистеме Сальского сухостепного полигона функция (1) реализуется уравнением

$$Y_1 = 0,25(X_i - 1866) \text{ при } 1962 < X_i < 1978, \quad (2)$$

что означает градиент прироста отчуждения 0,25% площади экосистемы в год. Такое уравнение можно проверить как вперед, так и назад. Так, ретроспективная проверка свидетельствует, что заселение района (и следовательно, отчуждение сельскохозяйственных земель под строительство) началось в середине XIX в., что близко к действительности, так как заселение Сальских степей казаками началось в годы, предшествующие отмене крепостного права в России. По экстраполяционному прогнозу к 2000 г. будет застроено уже 33,5% (треть!) площади экосистемы.

Также линейной функцией в исследованном полигоне аппроксимируется тренд увеличения площади распаханых земель, который по тем же данным реализуется уравнением

$$Y_2 = 0,5(X_i - 1846) \text{ при } 1962 < X_i < 1978, \quad (3)$$

где Y_2 — относительная площадь распаханых земель, %; X_i — текущий год. Из анализа уравнения (3) видно, что градиент прироста площади распаханых земель составляет 0,5% в год, а 1846 г. — условный год начала распахки. Ретроспективная проверка показала, что единичные распахки в районе появились в середине XIX в., следовательно, линейная аппроксимация тренда изменения структуры использования земель вполне удовлетворительна. Экстраполяционный прогноз строится из расчета, что распахивается резерв земли. Последний, в свою очередь, непрерывно сокращается из-за растущего отчуждения земель под строительство, дороги и т. п. Таким образом, линейная аппроксимация прироста площади распаханых земель не беспредельна. Критический год качественного перелома функции $Y_2(X_i - X_0)$ наступает тогда, когда резерв земель исчерпывается и становится лимитирующим фактором прироста Y_2 . Пороговая величина прироста Y_2 определяется условием

$$S = Y_1 + Y_2 = 100\%, \quad (4)$$

где S — общая площадь района. В исследованном Сальском сухостепном

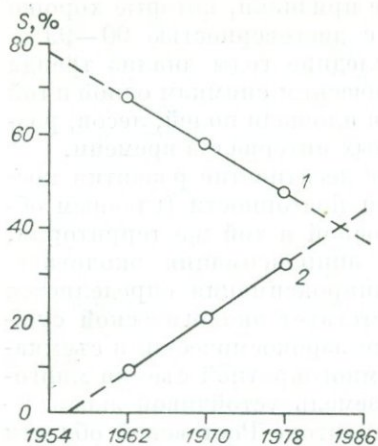


Рис. 1. Линейный тренд изменения относительной площади (S) классов экологических фаций ключевого участка низовьев дельты Амударьи в процессе ее опустынивания, составленная по аэрокосмическим снимкам 1962, 1970 и 1978 гг. (1, 2 — классы гидроморфных (1) и галоморфных (2) экологических фаций; сплошная линия — измеренная, прерывистая — прогнозная).

полигоне по уравнениям (2) и (3), исходя из условия (4), вычисляется критический год качественного перелома

$$100 = 0,25(X_{lim} - 1866) + 0,5(X_{lim} - 1846), \quad (5)$$

где X_{lim} — критический год (прогнозируется 1986) качественного перелома, после которого уравнение прироста распаханых земель (3) не работает и начнется постоянное снижение площади распаханых земель.

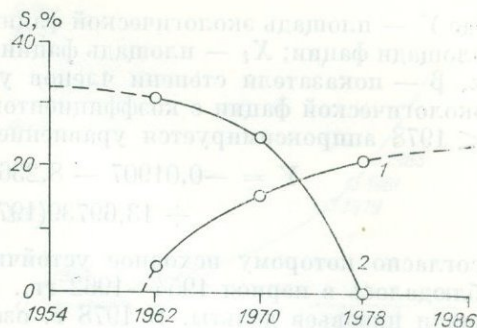
Аналогичным образом по аэрокосмическим снимкам трехкратной повторности 1962, 1970 и 1977—1978 гг. ключевого участка низовьев дельты Амударьи экологический тренд некоторых фаций был аппроксимирован линейными функциями [Виноградов, Попов, 1982]. Такая форма экологических изменений природных экосистем сравнительно редка. С одной стороны, кусочно-линейная аппроксимация здесь используется в тех случаях, когда мы не знаем поведения функций за пределами эмпирических данных. С другой стороны, линейный тренд в природе все же, по-видимому, встречается. Он более характерен для доминирующих экологических фаций или фаций, расположенных около гидроклиматического местного климакса. Например, на упомянутом ключевом участке дельты Амударьи линейную форму имеют пространственно-временные изменения площади пойменных фаций с тростниковыми зарослями. При нисходящем ходе линии относительная площадь фации постепенно уменьшается за равный интервал времени на одну и ту же величину. Линейным также оказался тренд широких классов экологических фаций. Например, на исследованном полигоне низовьев дельты Амударьи такими свойствами обладает тренд крупных классов галоморфных и гидроморфных экологических фаций (рис. 1).

В виде линейной аппроксимации по двукратным повторным снимкам в разных странах описаны количественные изменения структуры экосистем. В долине р. Миссури по аэрофотоснимкам за 35 лет видно, что площадь лесов сокращается ежегодно на 1,6%, а площадь полей растет на 0,8% [Bragg, Tatschal, 1977]. В Тунисе по снимкам за 24 года показано, что заросли кустарников сокращаются на 1,5% в год, площади плантаций и линейной эрозии почв соответственно растут на 0,13 и 0,14% в год [Schwaar, 1966]. Таких примеров линейных изменений площадей, вычисленных по снимкам двух сроков залетов, много.

Необходимо отметить, что, исходя из линейной аппроксимации экологического тренда, по аэрокосмическим снимкам двукратной повторности строятся матрицы переходов сложных систем [Виноградов, 1979; Camarasa e. a., 1977; Debussche e. a., 1977; Frey, Dill, 1974; Wickware, Horwath, 1981].

Нелинейный экологический тренд. Многократные повторные аэрокосмические съемки позволили выявить нелинейный экологический тренд как на популяционном, так и на элементарном биогеоценотическом уровнях. Существует несколько известных типов функций, которые используются при математическом моделировании биологических процессов и применимы для описания экологического тренда по повторным аэрокосмическим снимкам. Нами прежде были использованы для этих целей функции нормального, биномиального и логнормального распределений. В настоящее

Рис. 2. Нелинейный тренд изменения относительной площади (S) видов экологических фаций ключевого участка низовьев дельты Амударьи в процессе ее опустынивания по данным аэрокосмической съемки 1962, 1970 и 1978 гг. (1 — пойменная фация с юлгунниками ажрековыми на луговых пойменно-аллювиальных солончаковых почвах; 2 — старопойменная фация с мелкими озерами, зарастающими тростниками; сплошная линия — измеренная, прерывистая — прогнозная).



время для описания динамики экосистем, в особенности на популяционном уровне, мы предлагаем использовать функцию гамма-распределения

$$Y = a + b(X_i - X_0)^\alpha \exp(-\beta(X_i - X_0)), \quad (6)$$

где Y — дешифрируемая на повторных аэрокосмических снимках характеристика (густота, покрытие, диаметр кроны); X_0 — время начала отсчета динамики; X_i — текущее время; a , b , α , β — параметры уравнения. Смысл этой функции заключается в том, что сначала прирост характеристики ускоренно возрастает, но затем замедляется и характеристика достигает максимума. После этого происходит в общем более длительное, сначала быстрое, затем замедленное уменьшение значений характеристики [Moss, 1976].

Второй типичной формой кривой, описывающей экологический тренд, главным образом на элементарном биогеоценотическом уровне, является S-образная (логистическая) кривая, аналитическое решение которой записывается как

$$Y = a/(1 + \exp(-\alpha(X_i - X_0))), \quad (7)$$

где Y — характеристика экосистемы, дешифрируемая на аэрокосмическом снимке (как правило, площадь); характеристики X_0 и X_i те же, что и в уравнении (6). Смысл этой функции заключается в том, что прирост характеристики ускоренно увеличивается, а затем также ускоренно затухает. Эта функция используется при математическом моделировании многих разрушительных процессов в экосистемах.

Несмотря на априорное знание нелинейных аппроксимаций экологического тренда упомянутыми функциями, при дешифрировании аэрокосмических снимков мы не можем воспользоваться ими в полной мере. Объясняется это тем, во-первых, что у нас слишком мала численность повторных съемок, не позволяющая представить полный вид нелинейной функции. В результате, нам приходится аппроксимировать их различными кусочно-нелинейными функциями. Во-вторых, эволюция экологических единиц каждого иерархического уровня происходит под влиянием эволюции других единиц в системе более крупного уровня, что также искажает форму простых функций, делает их неоднозначными и многовершинными. Поэтому приведенные ниже нелинейные функции большей частью являются кусочными, описывая фрагменты более сложных.

При изучении тренда разных экологических фаций ключевого участка низовьев дельты Амударьи и по аэро- и космическим снимкам 1962, 1970 и 1978 гг. были прослежены следующие формы кривых динамики их относительной площади в процессе опустынивания за 16 лет [Виноградов, Попов, 1982] (рис. 2). Одна часть временных изменений описывается нисходящей кривой с ускоренным ходом уменьшения площади. Она имеет форму параболы с осью, расположенной вдоль ординаты относительной площади. К такому типу относится, например, динамика площади пойменных озер, которая сокращается все быстрее и быстрее. Такая тенденция описывается набором степенных функций вида

$$Y = a + b(X_0 - X_i)^\alpha + c(X_0 - X_i)^\beta, \quad (8)$$

где Y — площадь экологической фации; X_0 — начальная дата сокращения площади фации; X_i — площадь фации в текущий год; a, b, c — параметры; α, β — показатели степени членов уравнения. Современный тренд этой экологической фации с коэффициентом корреляции ≈ 1 при $1962 < X_i < 1978$ аппроксимируется уравнением

$$Y = -0,01907 - 8,23663(1978 - X_i)^{1,19477} + 13,69739(1978 - X_i)^{1,05743}, \quad (9)$$

согласно которому исходное устойчивое состояние пойменных озер наблюдалось в период 1954—1962 гг., когда озера занимали 31—33% площади низовьев дельты. В 1978 г. озера в соответствии с уравнением (9) практически исчезли.

Другой экологический тренд описывается восходящей кривой с замедленным со временем приростом относительной площади. Он имеет вид параболы с осью, расположенной вдоль координаты времени. Такова динамика фаций юлгунников ажрековых на луговых пойменно-аллювиальных солончаковых почвах или фаций высохших озер с рогозово-тростниковыми зарослями. Их тенденция описывается также набором степенных функций вида (8):

$$Y = a + b(X_i - X_0)^\alpha + c(X_i - X_0)^\beta. \quad (10)$$

Основным свойством функции (10) является быстрый прирост в начале процесса, уменьшение прироста с годами и выход на горизонтальный уровень во временно устойчивом состоянии. Так, например, экологический тренд фации юлгунников ажрековых на луговых пойменно-аллювиальных солончаковых почвах описывается уравнением с коэффициентом корреляции ≈ 1 при $1962 < X_i < 1978$:

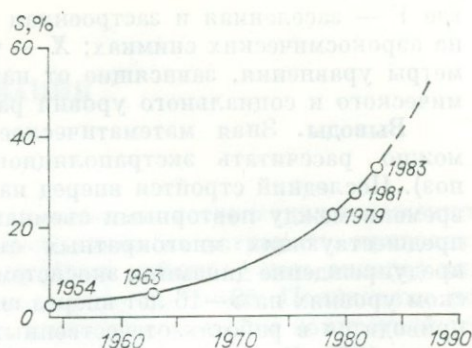
$$Y = -0,05265 + 6,55948(X_i - 1961)^{0,49583} - 2,21829(X_i - 1961)^{0,24996}. \quad (11)$$

Уравнение (11) свидетельствует, что развитие данной лугово-солончаковой фации началось в 1961 г., площадь фации сначала быстро увеличивалась и затем стабилизировалась после 1982 г. (прирост площади фации стал ниже порогового размера, т. е. меньше 2% площади за 8-летний период), составляя к этому времени около 23—25% площади низовьев дельты.

Нелинейным экологическим трендом, выявленным по многократным повторным аэрокосмическим снимкам в интервале 1953—1983 гг., является динамика очагов опустынивания в Черных землях Калмыцкой АССР. Как видно по аэрофотоснимкам 1953, 1954 и 1958 гг., в Черных землях светлые пятна голых песков небольших размеров (площадью до нескольких десятков гектаров) эллиптической формы встречались лишь с северо-западной стороны крупных колодцев. Такие пятна были редкими, стабильными и занимали не более 2—3% площади района. Остальную площадь занимали заросшие пески, супесчаные равнины с продуктивными пастбищами, а местами даже с сенокосами.

На аэрокосмических снимках 1979, 1981 и 1982 гг. виден быстрый рост площади очагов опустынивания в Черных землях. Светлые эллиптические пятна приколодезных разбитых песков значительно увеличили размеры и многие из них достигли нескольких сотен гектаров. Возникло много мелких разбросанных язв дефляции, которые, безусловно, явятся центрами расширения ветро-эрозионных процессов в ближайшем будущем. Но особенно значительные последствия приурочены к заброшенным пашням начала 1960-х годов. Они отличаются по тону (более темному), форме (изометрической) и размерам (достигают нескольких десятков тысяч гектаров). В результате за 25 лет очаги опустынивания заняли 30% площади района и начали влиять на соседние ландшафты, повышая запыленность, сухость и температуру воздуха, повреждая окружающую растительность и обеспечивая этим дальнейшее распространение эрозии почв. На снимках

Рис. 3. Нелинейный тренд изменения относительной площади дефляционно-аккумулятивного эолового комплекса (S) в Черных землях в процессе их опустынивания по данным аэрокосмической съемки 1954, 1963, 1979, 1981 и 1983 гг. (сплошная линия — измеренная, прерывистая — прогнозная).



тон изображения пастбищной растительности стал существенно светлее за счет уменьшения покрытия растительности, ухудшения ее состава, деградации почвы и увеличения концентрации пыли в атмосфере. Ухудшению подверглось не менее 75% всей площади сельскохозяйственных угодий, средняя урожайность пастбищ за 25 лет упала в 2—3 раза. Ход опустынивания становится спонтанным, и агролесомелиорация уже не дает ощутимых результатов.

Кривая ускоренного роста площади очагов опустынивания, как и других неконтролируемых процессов разрушения экосистем, описывается арифметической, геометрической и логарифмической прогрессиями. Так, экологический тренд современного расширения дефляционно-аккумулятивного комплекса в Черных землях, вызванного их перевыпасом и частичной распашкой, описывается экспоненциальной функцией (рис. 3)

$$Y = \exp(K(X_i - X_0)), \quad (12)$$

где Y — относительная площадь опустынивания в текущем году; X_i — текущее время; X_0 — год начала проявления ускоренного процесса; K — ежегодный прирост площади опустынивания. Для Черных земель функция (12) реализуется уравнением

$$Y = \exp(0,09441(X_i - 1946)). \quad (13)$$

Из анализа уравнения (13) следует, что ускоренный процесс опустынивания начался около 1960 г., т. е. тогда, когда площадь разбитых земель удвоилась по сравнению с устойчивым состоянием и достигла 5% критической величины. Это соответствует времени нарушения экологического равновесия территории (перевыпас, распашка песчаных почв). Кроме того, ретроспективная экстраполяция уравнения (13) показывает год наибольшей стабилизации песков — 1946 г., когда населенность земель и, следовательно, пастбищная нагрузка были наименьшими. По уравнению (13) экстраполяционный прогноз-предупреждение (эпигноз) предсказывает, что к 1995 г., если не будут проведены эффективные мелиоративные мероприятия, вся территория Черных земель будет занята лишенным растительности и почв дефляционно-аккумулятивным комплексом и пастбищ вообще не останется. Ежегодный прирост площади песков, согласно уравнению (13), составляет 9,4% площади песков предыдущего года. Таким образом, по рассчитанному нами уравнению можно планировать на ближайшее будущее ежегодное снижение урожайности пастбищ, сокращение площади пригодных земель и увеличение необходимого объема мелиоративных работ.

Кроме антропогенных изменений природных факторов на формирование экологического тренда влияют социальные факторы — рост общей численности населения, концентрация населенных пунктов, механизация производства и т. п., которые связаны различными математическими функциями с характеристиками аэрокосмического изображения. Нелинейный экологический тренд представляет собой также зависимость между ростом населения и площадью, которая моделируется степенной функцией вида

$$Y = aX^b, \quad (14)$$

где Y — заселенная и застроенная селитебная площадь, дешифрируемая на аэрокосмических снимках; X — численность населения; a и b — параметры уравнения, зависящие от национального типа расселения, экономического и социального уровня развития [Hulquist e. a., 1971].

Выводы. Зная математическое выражение экологического тренда, можно рассчитать экстраполяционный прогноз-предупреждение (эпигноз). Последний строится вперед на число лет, равное одному интервалу времени между повторными съемками или на одну треть длинного ряда предшествующих многократных съемок. Экстраполяционный прогноз-предупреждение динамики экосистем на популяционном и биогеоценологическом уровнях на 8—16 лет вперед по повторным аэрокосмическим снимкам приводится в работах отечественных и зарубежных ученых [Виноградов и др., 1979; Виноградов, Попов, 1982; Hulquist e. a., 1971; Moos, 1976]. По повторным аэрокосмическим снимкам на основе составления матриц переходов прогнозируется развитие более сложных экосистем [Виноградов, 1979; Camarasa e. a., 1977; Debussche e. a., 1977]. В настоящее время работы такого рода единичны, и для развития системы аэрокосмического мониторинга динамики экосистем необходимо математическое моделирование экологического тренда разных классов экосистем, на разных иерархических уровнях и при разной интенсивности динамики.

ЛИТЕРАТУРА

- Виноградов Б. В. Аэрометоды изучения растительности аридных зон.— М.— Л.: Наука, 1966.— 362 с.
- Виноградов Б. В. Динамическая структура антропоизированных экосистем.— Докл. АН СССР, 1979, т. 249, № 3, с. 753—756.
- Виноградов Б. В., Иванченков А. С., Коваленок В. В. и др. Некоторые результаты космического фотографирования динамики экорегиона с «Союза-9» и «Салюта-6».— Докл. АН СССР, 1979, т. 249, № 6, с. 1501—1504.
- Виноградов Б. В., Попов В. А. Вероятностный прогноз динамики экосистем дельты Амурарьи.— География и природные ресурсы, 1982, № 3, с. 38—45.
- Виноградов Б. В., Севастьянов В. И. Космический эксперимент изучения динамики устойчивого сельскохозяйственного ландшафта.— География и природные ресурсы, 1984, № 1, с. 57—63.
- Anderson J. R. Land use and land cover changes — a framework for monitoring.— U. S. G. S. Research J., 1977, v. 5, N 2, p. 143—153.
- Bragg T. B., Tatschal A. K. Changes in flood-plain vegetation and land use along the Missouri river.— Environ. Management, 1977, v. 1, N 4, p. 343—348.
- Camarasa J. M., Folch R. G., Massales R. M. Patrimonio natural y crecimiento urbano en la Comarca de Barcelona.— Opuscula sparsa, 1977, v. 14, 55 p.
- Debussche M., Godron M., Lepart J., Romane F. An account of the use of transition matrix.— Agroecosystems, 1977, v. 3, N 3, p. 81—92.
- Frey T. H., Dill H. W. Land use change in the southern Mississippi alluvial valley, 1950—1969 — an analysis based on remote sensing.— Wash., 1971.— 26 p.
- Hulquist N. B., Rushton G., Schmitt R. P. Identification and forecasting change in a regional system of urban places.— In: Proc. 7-th Internat. Symp. Remote Sensing Environ., Ann Arbor, 1971, p. 1553—1561.
- Moss M. R. Forest regeneration in the rural-urban fringe: a study of secondary succession in the Niagara peninsula.— Canad. Geographer, 1976, v. 20, N 2, p. 141—157.
- Schwaar D. C. L'évolution du milieu entre 1949 et 1963 dans une région d'essai de Tunisie centrale: étude détaillée réalisée par photo-interprétation.— Photogrammetria, 1966, v. 21, N 4, p. 105—114.
- Wickware C. M., Horwath P. J. Change detection in the Peace-Athabasca Delta using digital Landsata data.— Remote Sensing Environment, 1981, v. 11, N 1, p. 9—25.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Поскольку поступающие с ИСЗ снимки имеют геометрические искажения, вызванные различными факторами, необходимо их устранять, приводить снимки к стандартным проекциям и др. Цель работы — дать аппарат для геометрических преобразований цифровых изображений. Полученные результаты рассмотрены на моделях, а также при решении конкретной задачи.

Создан ряд программ, реализующих алгоритмы геометрических преобразований изображений. Комплекс программ написан на алгоритмическом языке Фортран-IV и реализован на ЭВМ БЭСМ-6; построен по модульному принципу, что позволяет дополнять и изменять его функциональные возможности. Ввод и вывод видеoinформации осуществлялся на базе комплекса обработки изображений (КОИЗ) Вычислительного центра СО АН СССР [Алексеев и др., 1978].

Созданные программы позволяют осуществлять следующие преобразования: подобия; аффинные; коллинеарные; нелинейные. Эти преобразования позволяют выполнять такие операции над изображениями, как компенсация искажений, приведение к стандартным проекциям, операции по монтажу, совмещения, повороты и т. д.

При геометрических преобразованиях цифровых изображений возникают следующие сложности: большое количество обменов с внешними магнитными носителями, большое время выполнения, связанное с поточечным пересчетом изображения и эффект «выколотых точек». При создании комплекса программ были выбраны следующие пути решения этих проблем.

Для сокращения числа обменов обработка изображений ведется фрагментами, размер которых ограничен объемом оперативной памяти ЭВМ.

Преобразование даже небольших изображений является достаточно громоздкой задачей, так как все операции выполняются для каждого элемента. Для сокращения времени счета изображение разбивается на небольшие квадраты размером $n \times n$ элементов и преобразования выполняются только для элементов, координаты которых кратны n . Для остальных элементов преобразование выполняется с помощью билинейной интерполяции.

Пусть закон прямого преобразования

$$\left. \begin{aligned} j &= f_1(p, q) \\ k &= f_2(p, q) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

тогда для обратного преобразования имеем

$$\left. \begin{aligned} p &= \varphi_1(j, k) \\ q &= \varphi_2(j, k) \end{aligned} \right\}^* \quad (2)$$

где p и q — координаты элементов исходного изображения (ИИ); j и k — координаты элементов преобразованного изображения (ПИ). Поскольку отображение между элементами ИИ и ПИ не единственно, в преобразованном изображении некоторые элементы могут оказаться пустыми — эффект «выколотых точек». Чтобы его устранить, используются формулы обратного преобразования (2), т. е. каждому элементу ПИ ставится в соответствие элемент ИИ.

При решении одних задач известен закон прямого отображения (1), для других задаются координаты опорных точек и их смещения. Для построения математической модели преобразования используются степенные

полиномы [Markarian и др., 1973]:

$$\left. \begin{aligned} p = \varphi_1(j, k) &= \sum_{l=0}^N \sum_{m=0}^{N-l} a_{lm} \cdot j^l \cdot k^m \\ q = \varphi_2(j, k) &= \sum_{l=0}^N \sum_{m=0}^{N-l} b_{lm} \cdot j^l \cdot k^m \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Эти полиномы используются для устранения низкочастотных искажений. Значение коэффициентов a, b получают путем вычисления по методу наименьших квадратов.

Помимо вычисления координат элементов при геометрических преобразованиях выполняются преобразования яркостей. Заметим, что вычисленные координаты p и q суть величины вещественные, а координаты элементов изображения — величины целые. Поэтому яркость элемента (j, k) не соответствует яркости конкретного элемента ИИ. При изменении масштаба яркость элемента (j, k) может соответствовать средней яркости целого массива ИИ. Таким образом, яркость точки (j, k) может быть интерполирована по яркостям соседних с (p, q) элементов:

$$T(j, k) = \sum_m \sum_n T(m, n) \cdot R, \quad (4)$$

где T — яркости элементов; R — интерполирующая функция.

Самым простым преобразованием яркости является принцип максимального соответствия:

$$T(j, k) = T([p + 0,5], [q + 0,5]), \quad (5)$$

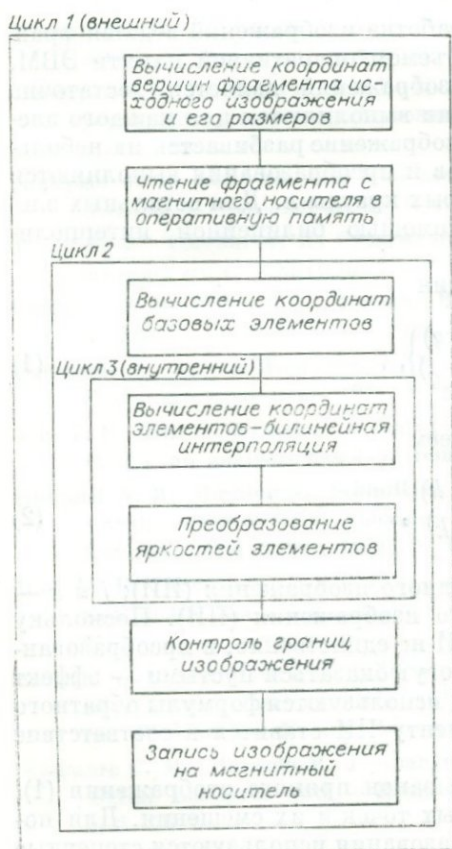
где $[]$ — целая часть числа.

Известно, что метод максимального соответствия дает эффект ложных контуров при значительных изменениях масштаба. Однако для масштабного коэффициента, близкого к единице (что имеет место при коррекции изображений), преобразование (5) справедливо [Braccini, Marino, 1980].

На рисунке представлена укрупненная блок-схема алгоритма поворота изображения, иллюстрирующая приведенные положения. Алгоритм состоит из трех вложенных циклов. Во внешнем цикле выполняется разбиение результирующего изображения на фрагменты, размеры которых позволяют считать их в оперативную память ЭВМ. По формулам обратного преобразования (2) для фрагмента вычисляются координаты вершин фигуры в поле ИИ, соответствующей фрагменту ИИ. Затем вычисляются координаты чтения и размеры фрагмента ИИ:

На рисунке представлена укрупненная блок-схема алгоритма поворота изображения, иллюстрирующая приведенные положения. Алгоритм состоит из трех вложенных циклов. Во внешнем цикле выполняется разбиение результирующего изображения на фрагменты, размеры которых позволяют считать их в оперативную память ЭВМ. По формулам обратного преобразования (2) для фрагмента вычисляются координаты вершин фигуры в поле ИИ, соответствующей фрагменту ИИ. Затем вычисляются координаты чтения и размеры фрагмента ИИ:

$$\left. \begin{aligned} R_p &= \min(V_p) \\ R_q &= \min(V_q) \\ m &= \max(V_p) - R_p \\ n &= \max(V_q) - R_q \end{aligned} \right\} \quad (6)$$



Блок-схема алгоритма поворота цифрового изображения.

где V_p, V_q — векторы координат вершин фигуры; R_p, R_q — координаты чтения фрагмента; m, n — размеры фрагмента ИИ. По вычисленным параметрам выполняется чтение фрагмента ИИ. В качестве программ обмена использовались программы, разработанные в лаборатории математического обеспечения обработки изображений ВЦ СО АН СССР [Алексеев и др., 1983].

Во втором цикле выполняется разбиение фрагментов ПИ на малые квадраты размером $n \times n$ элементов (укладывается во фрагменте целое число раз), вершины которых назовем базовыми. По формулам (2) вычисляются координаты элементов ИИ, соответствующих базовым элементам ПИ.

Во внутреннем цикле с помощью билинейной интерполяции по четырем точкам выполняются поэлементный пересчет координат для остальных элементов и преобразование яркостей элементов по формуле (4) или (5).

Когда результирующий фрагмент сформирован, выполняется его запись в поле ПИ на магнитном носителе.

Результат работы программы поворота изображения представлен на фото 1, а, а пример нелинейного геометрического преобразования — на фото 1, б (см. приложение). На фото 2 приведен результат практического использования комплекса программ геометрического преобразования — решена задача географической привязки и монтажа сканерных ИК снимков низкого разрешения. Для реализации был задействован прямой канал для ввода информации с ИСЗ в ЭВМ. Спутниковая информация поступала в КОИЗ Вычислительного центра на аналого-цифровой преобразователь и в цифровом виде записывалась на магнитную ленту мини-ЭВМ СМ-4. Для последующей обработки информации переписывалась на магнитный диск ЭВМ БЭСМ-6. Объем исходной информации составил $2 \cdot 10^6$ байт; время обработки — около 8 мин времени центрального процессора БЭСМ-6.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев А. С., Кульков Н. В., Пяткин В. П. Комплекс автоматизированной обработки аэрокосмических изображений. — В кн.: Развитие и использование аэрокосмических методов изучения природных явлений и ресурсов. Новосибирск: Наука, 1978, с. 7—29.
- Алексеев А. С., Деметьев В. Н., Калантаев П. А. и др. Аппаратно-программное обеспечение регионального центра автоматизированной обработки аэрокосмических изображений. — Космические методы изучения природной среды Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1983, с. 115—125.
- Braccini C., Marino G. Fast geometrical manipulations of digital images. — Computer graphics and image processing, 1980, N 13, p. 127—141.
- Markarian H., Bernstein R., Fernyhough D., Gregg L. E., Sharp F. S. Digital correction for high-resolution images. — Photogrammetric Engineering, 1973, v. 39, N 12.

Ю. М. ПЛЯШНИК, В. И. ХАРУК,
В. Г. ЧЕРЕПАНОВ, Е. В. ФЕДОТОВА

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОЛИГОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Полигонные измерения занимают ключевое место в системе дистанционного зондирования. Под наземными полигонами обычно понимают тестовые участки в районах проведения съемок. Выполняемое на них описание объектов исследования используется в процессе интерпретации данных дистанционного зондирования [Исмаилов, 1980]. Существует, однако, ряд задач, решение которых требует создания полигона иного типа. К таким

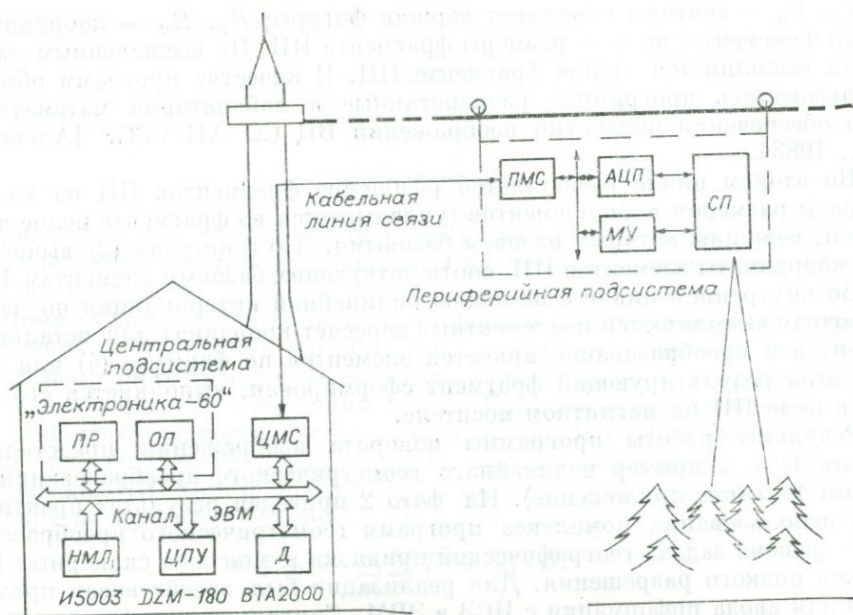


Рис. 1. Структурная схема полигона «Зонд» (СП — спектрометр полевой, МУ — модуль управления, АЦП — амплитудно-цифровой преобразователь, ПМС — периферийный модуль связи, ЦМС — центральный модуль связи, Д — дисплей, ЦПУ — цифropечатающее устройство, НМЛ — накопитель на магнитной ленте, ПР — процессор, ОП — оперативная память).

задачам относятся отработка методических аспектов дистанционного зондирования, исследование факторов, воздействующих на параметры собственного и отраженного излучения элементов лесного ландшафта и определяющих информативность аэрокосмических изображений, а также испытание различных разработок, преимущественно приборов-датчиков. Автоматизация измерений на таком полигоне предполагает:

- прием, преобразование и передачу информации от приборов-датчиков к центральной части системы;
- дистанционное управление режимами и параметрами приборов-датчиков;
- проведение экспресс-обработки полученных данных, например вычисление коэффициентов спектральной яркости (КСЯ), статистическую обработку;
- визуализацию промежуточных и конечных результатов в наглядной форме;
- документирование результатов.

Структурная схема полигона, отвечающего изложенным требованиям, представлена на рис. 1. Созданный в соответствии с этой схемой полигон (система «Зонд») включает набор объектов исследования, механическую часть и подсистему сбора и обработки информации. В качестве прототипа системы «Зонд» была использована разработка, реализованная на одном из стационаров Института леса и древесины СО АН СССР в 70-е годы. Измерения на ней производились с платформы, перемещаемой по тросам на высоте 10—12 м над уровнем почвы [Харук и др., 1983]. За рубежом аналогичная установка была использована для изучения зависимости величины КСЯ от угла стояния Солнца [Kimes e. a., 1980].

Рассмотрим составляющие системы «Зонд».

Объекты исследования представлены молодняками лиственницы, сосны, березы, луговой растительностью, а также участком спелых сосновых насаждений. Они расположены вдоль трассы измерений (250 м). Возраст молодняков 18—20 лет, высота 7—10 м.

28 июля 1983 г.

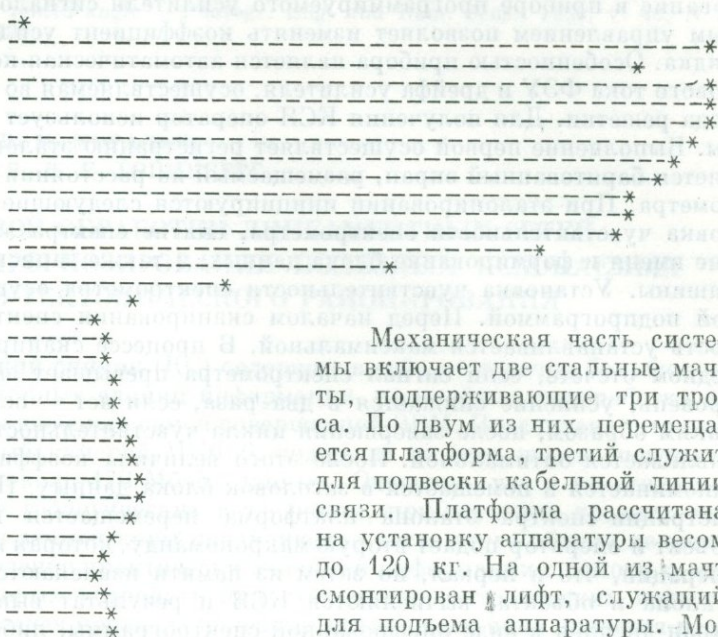
14 15

Коэффициент усиления 16

Итого луг

| | | |
|----|----------|--------|
| 1 | 0.000000 | -* |
| 2 | 50.00000 | -----* |
| 3 | 45.00000 | -----* |
| 4 | 50.00000 | -----* |
| 5 | 50.52083 | -----* |
| 6 | 50.00000 | -----* |
| 7 | 49.16667 | -----* |
| 8 | 47.54902 | -----* |
| 9 | 46.06482 | -----* |
| 10 | 44.44444 | -----* |
| 11 | 44.54546 | -----* |
| 12 | 42.67241 | -----* |
| 13 | 37.62627 | -----* |
| 14 | 26.99005 | -----* |
| 15 | 15.25822 | -----* |
| 16 | 8.223684 | -----* |
| 17 | 5.937500 | -----* |
| 18 | 6.041667 | -----* |
| 19 | 6.223629 | -----* |
| 20 | 6.798246 | -----* |
| 21 | 7.077626 | -----* |
| 22 | 7.608696 | -----* |
| 23 | 8.461539 | -----* |
| 24 | 8.593750 | -----* |
| 25 | 8.879782 | -----* |
| 26 | 8.908046 | -----* |
| 27 | 8.179012 | -----* |
| 28 | 7.142857 | -----* |
| 29 | 6.201551 | -----* |
| 30 | 5.855356 | -----* |
| 31 | 6.481482 | -----* |
| 32 | 7.017544 | -----* |
| 33 | 6.790123 | -----* |

Рис. 2. Пример документирования данных измерений КСЯ (объяснение см. в тексте).



Вас устраивает масштаб (0-нет, 1-да)?

Механическая часть системы включает две стальные мачты, поддерживающие три троса. По двум из них перемещается платформа, третий служит для подвески кабельной линии связи. Платформа рассчитана на установку аппаратуры весом до 120 кг. На одной из мачт смонтирован лифт, служащий для подъема аппаратуры. Моделирование дистанционных исследований производится раз-

мещением приборов-датчиков на платформе на высоте ~35 м над уровнем почвы. При выборе этого расстояния учитывались необходимость варьирования элемента разрешения на местности и технические ограничения.

Подсистема сбора и обработки информации: на платформе кроме приборов-датчиков установлено устройство связи, в составе которого 8-разрядный АЦП, модуль управления и периферийный модуль связи. Кабельной линией связи аппаратура соединяется с центральной частью системы, размещенной в лаборатории. Центральная часть системы реализована на базе микро-ЭВМ «Электроника-60» и включает процессор с дополнительными модулями памяти, накопитель на магнитной ленте, дисплей и знакосинтезирующее печатающее устройство. Накопитель на магнитной ленте используется как носитель матобеспечения: перед началом работы программа с ленты загружается в память машины. В дальнейшем предполагается записывать на ленту результаты измерений. На экране дисплея отображается информация, поступающая с приборов-датчиков, а также данные о состоянии отдельных устройств и модулей системы. Документирование результатов производится печатающим устройством в виде оцифрованной спектрограммы, имеющей в пределе до 110 уровней квантования по амплитуде.

Математическое обеспечение системы построено на основе языка QUASIC и обеспечивает диалоговый режим работы с представлением команд на естественном языке. Диалог обеспечивается системным монитором, вызывающим по командам оператора подпрограммы проверки состояния, установки режима, справочные, рабочие программы снятия данных, стат-обработки и др. Система позволяет как выполнять одиночные операции по снятию данных, так и программировать их последовательность макрокомандой в виде строки команд.

Рассмотрим проведение полигонных измерений на примере регистрации КСЯ. В качестве прибора-датчика использовался модифицированный спектрометр С-9. Спектральный диапазон прибора 430—950 нм, разрешение по спектру 7—10 нм, время развертки спектра 15 с, угол зрения 3×12°. Весь спектральный диапазон разбит на 33 точки отсчета данных (рис. 2).

В каждой из этих точек во время прямого хода дифракционной решетки прибор генерирует стробирующий импульс, запускающий АЦП. Использование в приборе программируемого усилителя сигналов ФЭУ с цифровым управлением позволяет изменять коэффициент усиления на три порядка. Особенностью прибора является автоматическая компенсация темнового тока ФЭУ и дрейфа усилителя, осуществляемая во время обратного хода решетки. Для получения КСЯ оператор использует две макрокоманды. Выполнение первой осуществляет регистрацию эталона. Эталоном является баритованный экран, размещаемый на расстоянии 4—5 м от спектрометра. При эталонировании инициируются следующие операции: установка чувствительности спектрометра, снятие спектра эталона, присвоение имени и формирование блока данных, а также запись блока в память машины. Установка чувствительности спектрометра осуществляется особой подпрограммой. Перед началом сканирования спектра чувствительность устанавливается максимальной. В процессе сканирования при очередном отсчете, если сигнал спектрометра превышает заранее заданный уровень, усиление снижается в два раза, если нет — остается прежним. Таким образом, после завершения цикла чувствительность прибора устанавливается оптимальной. После этого величина коэффициента усиления запоминается и помещается в заголовок блока данных. По окончании регистрации спектра эталона платформа перемещается на исследуемый объект и оператор подает вторую макрокоманду, которая инициирует те же операции, что и первая, но затем из памяти извлекаются блоки данных эталона и объекта, вычисляются КСЯ и результат выводится либо на экран дисплея в виде оцифрованной спектрограммы, либо на печатающее устройство. При этом спектрограмма снабжается заголовком, который содержит дату, текущее время, коэффициенты усиления блоков данных эталона и объекта, имя спектрограммы и вспомогательную информацию, введенную оператором с клавиатуры дисплея перед началом измерений (условия съемки, характер объекта, метеоданные).

На рис. 2 приведен образец распечатки величин КСЯ одного из объектов исследования. Оцифрованные данные значений амплитуд приведены в условных единицах, без пересчета в значения коэффициентов отражения. Реперные отметки 1—33 расположены равномерно по спектру и соответствуют диапазону 950—430 нм. На ленту печатающего устройства выводятся также служебная информация и статистики измеряемых величин.

Рассмотренный пример лишь частично иллюстрирует возможности разработанной системы, первые испытания которой проведены в 1983 г. В дальнейшем планируется введение в состав системы канала регистрации метеоданных, соотношения прямой и рассеянной радиации, реального времени. Предполагается ввести эталонирование по верхней полусфере. Развитие математического обеспечения позволит оператору программировать ход эксперимента, проводить целевую обработку регистрируемых на магнитную ленту данных. Планируется модернизация приборов-датчиков путем включения в них узлов, обеспечивающих программирование режимов их работы, а также оснащение датчиков сервисными элементами, позволяющими, например, изменять угол зрения прибора и направление визирования. Важной задачей является расширение диапазона исследуемых излучений, включение ИК и СВЧ частот спектра.

Суммируем изложенное. Создан и испытан полигон для автоматизированных измерений собственного и отраженного излучения элементов лесного ландшафта. Назначение полигона — решение методических вопросов дистанционного зондирования, исследование факторов, воздействующих на параметры собственного и отраженного излучения.

ЛИТЕРАТУРА

- Исмаилов Т. К. Развитие методов и средств подспутниковых наблюдений. — Исследование Земли из космоса, 1980, № 1, с. 35—59.
Харук В. И., Хребтов Б. А., Тимченко М. И. Изменчивость коэффициента спектральной яркости лесной растительности. — В кн.: Космические методы изучения

природной среды Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1983, с. 74—77.

Kimes D. S., Smith J. A., Ranson K. J. Vegetation reflectance measurements as a function of solar zenith angle.— *Photogr. Eng. and Rem. Sens.*, 1980, v. 46, N 12, p. 1563—1573.

О. Г. ШЕРЕМЕТ, В. М. МОРАЛЕВ,
Ю. С. ПЕРФИЛЬЕВ, В. Е. ГОНИКБЕРГ

ОПЫТ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ЛИНЕАМЕНТНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

Любой космический снимок (КС) содержит в себе достаточно большое количество элементарных единиц информации, простейшая переработка которой затруднена даже для самой совершенной ЭВМ. Подсчитано, что один снимок, сделанный камерой МКФ-6, содержит во всех шести спектральных диапазонах около 170 Мбайт данных. Очевидно, что в тематических исследованиях, и геологических в частности, при изучении древних глубинных структур земной коры подавляющая часть этого объема является излишней. Извлечение практически значимой информации с помощью аналоговых и цифровых устройств при структурно-тектонических построениях и решении задач прогноза полезных ископаемых пока является несовершенным процессом из-за технологических помех [Подвысоцкий и др., 1979].

В связи с этим в геологии карты линеаментов и кольцевых структур служат исходным материалом при визуальном дешифрировании КС. Дальнейшая интерпретация чаще всего производится путем сопоставления с геолого-геофизическими данными. При этом значительная часть схемы дешифрирования, содержащей по сравнению с исходными КС во много раз более сжатую информацию, зачастую остается непроинтерпретированной, не получает количественной оценки достоверности. В связи с этим представляется необходимым создание достаточно универсальной методики обработки карт линеаментов и кольцевых структур, предназначенной для получения количественных параметров, которые в дальнейшем подвергаются геологическому истолкованию. При этом предполагается развитие автоматизированных систем ввода схем дешифрирования КС как визуальных, так и полученных с помощью аналого-цифровых средств обработки изображения.

Целью данного сообщения является анализ опыта цифровой обработки линеаментных сетей с помощью предлагаемой методики [Шеремет и др., 1982, 1983], примененной нами для прогноза площадей на поиск месторождений эндогенного типа, оценки участков месторождения фосфоритов на стадии поисковых работ, оценки связей элементов дешифрирования КС с элементами структурно-тектонической схемы Тувы и сопредельных территорий.

Указанная методика вытекает из цели исследования, масштаба и вида исходного материала, а также из некоторого предположения о характере связей между интересующими геологическими объектами и их индикаторами. Другими словами, рассматриваемая методика может быть представлена в виде последовательности взаимосвязанно решаемых задач по извлечению информации с исходных схем, цифровой обработке и интерпретации результатов дешифрирования КС. К их числу относятся: 1) формализация структурных линий и эталонных геологических объектов; 2) выбор оптимального размера осредняющей палетки и извлечение исходной информации со схем дешифрирования КС; 3) первичная классификация (районирование) выделенных величин признаков структурных линий; 4) обучение и поиск информативных признаков искомым геологическим объек-

тов; 5) составление прогнозных алгоритмов и проверка численных решений.

В конкретных геологических ситуациях не все из отмеченных задач участвуют в интерпретации.

Формализация исходных схем дешифрирования КС необходима для представления его в кодах ЭВМ и производится с помощью определения количественных характеристик признаков структурных линий и рудопроявлений. При этом выделяются все возможные, с точки зрения интерпретатора, признаки, которые предположительно могут контролировать искомые геологические объекты. В литературе достаточно часто можно увидеть, что тот или иной признак структурных линий используется в качестве космической характеристики исходной схемы [Сулейманов и др., 1978]. Имеются работы [Белобородов, Коген, 1980], в которых для интерпретации фотогеологических карт привлекается целый комплекс фототонных и геолого-геофизических характеристик рудных районов. Тем не менее в указанных публикациях не анализировался достаточно полный набор дешифровочных признаков, и в связи с этим роль того или иного структурного признака в решении конкретной геологической задачи осталась невыясненной.

Вопрос о рациональном извлечении информации с исходных схем дешифрирования КС неизбежно встает в процессе количественного анализа геометрических параметров структурных линий. Особенно остро он стоит при количественной интерпретации исходной информации с помощью ЭВМ. Например, если снятие информации со схем дешифрирования производится с помощью палетки малой площади, то в значениях отсутствующих признаков будет большое количество нулей. Это приведет к тому, что детерминант матрицы исходной карты может быть близким к нулевому значению и, кроме того, размеры матрицы будут слишком большими (более 100×100). В первом случае для некоторых методов анализа это может привести к вычислению плохо обусловленных матриц [Белман, 1969], во втором — при обработке данных методами компонентного или факторного анализа — к неизмеримо большому счету даже на больших ЭВМ и, как следствие, к большим погрешностям в оценке собственных значений матриц [Люли, Максвелл, 1967; Уилкинсон, 1970].

В работе О. Г. Шеремета, В. М. Моралева, В. Е. Гоникберга [1982] приведен простой способ определения оптимальной площади осреднения геометрических параметров линеаментной сети. Его суть сводится к построению графиков функций $|\Delta\rho|(a)$, где ρ — плотность линеаментов, a — сторона осредняющей палетки в различных точках исследуемой области. Можно показать, что первые минимумы этой функции, считая от начала координат, будут указывать на размеры осредняющей палетки, близкие к оптимальным. Условие оптимальности в этом случае зависит от цели исследования и состоит в поиске такого размера площади осреднения, который обеспечивает, с одной стороны, снятие информации с наименьшими погрешностями, а с другой — наименьшее искажение исходных данных.

Следующие три из указанных задач методики интерпретации дешифрирования КС решаются с помощью применения некоторых алгоритмов из аппарата кластерного анализа [Дюран, Отдел, 1977]. Такие алгоритмы реализованы на ЭВМ ЕС для двух функций цели: среднегрупповой суммы квадратов отклонений R и коэффициента корреляции r .

Общая схема классификации в реализованных на ЭВМ алгоритмах состоит в следующем. Пусть задано исходное множество векторов (например, заданных в каждом центре квадратной палетки): $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$. Выберем две из них: $\{S_i\}$ и $\{S_j\}$, которые имеют наименьшее среднегрупповое расстояние. Новое подмножество состоит из $N - 1$ кластера: $S = \{S_1, \dots, \{S_i, S_j\}, \dots, S_N\}$. Далее процедура повторяется до тех пор, пока не произойдет полное объединение всего массива векторов в один $S = (S_1, S_2, \dots, S_N)$.

Информативные признаки выбираются на 50%-ном представительстве эталонных объектов методом кластерного анализа. Признаки, которые объ-

единились на эталонном участке с наибольшим весом, являются кандидатами в информативные признаки эталонных объектов. Затем производится классификация признаков структур для всего участка исследования. Те из выделенных ранее признаков, которые будут иметь наибольший вес, и принимаются в качестве информативных. Если при обучении, т. е. проведении кластерного анализа по найденным информативным признакам для всей исследуемой области, более 70% эталонных участков попали в однородный кластер на заданном уровне разбиения, по алгоритмам выделения объектов, подобных эталонным, можно его считать построенным. В случае отрицательного исхода обучения требуется дополнить набор исходных или производных признаков и провести интерпретацию заново.

Рассмотрим особенности предлагаемой методики количественной оценки схем дешифрирования КС для различных геологических целей. Сначала в качестве первого примера изучаемой площади выберем один из районов Охотско-Чукотского пояса, расположенного в пределах однородной металлогенической провинции. Исходным материалом явилась схема структурного дешифрирования, составленная по материалам КС среднего разрезания. Известные рудопроявления эндогенного типа, расположенные в районе исследования, служили эталонными площадями. Целью исследований было выделение перспективных прогнозных площадей для первоочередных поисков. Главная особенность проведенного эксперимента — выбор однородного района исследования в геологическом смысле. В связи с этим нам пришлось решать задачу районирования заданной территории. В качестве формализованных зон признаков выбрано четыре класса структурных элементов, к числу которых отнесены прямолинейные (линеаменты), кольцевые и дуговые структуры, а также их объединение (суммарные величины). Каждый из выделенных классов характеризовался количеством, длиной, числом пересечений, средней длиной и отношением числа пересечений к количеству соответствующих структур.

Область поисков может быть сужена за счет выделения 14 из 39 информативных признаков. На основе анализа последних общая модель индуцирующей структуры представляла собой концентр с радиально расходящимися из центра линеаментами, пересекающимися кольцевые и дуговые линии. После получения результатов обработки одна из прогнозных площадей была изучена в процессе наземных поисковых работ. Высокая перспективность выделенной площади подтвердилась.

Второй пример реализации рассматриваемой методики линеamentного анализа [Шермет и др., 1983] получен нами при оценке Буренханского месторождения фосфоритов в МНР. Данные для постановки такой задачи были получены при производстве одного из экспериментов по программе «Гоби—Хангай-81» Совета «Интеркосмос». Кроме фотографирования тестового участка из космоса в процессе этого эксперимента были проведены съемки камерами МКФ-6 и КАТЭ-140 с самолета-лаборатории. В результате геологического анализа и аэрокосмических снимков, а также наземных материалов, полученных на стадии поисковых работ, на район исследования составлена схема дешифрирования масштаба 1 : 50 000, на которой, по данным наземных поисковых работ, нанесены выходы на поверхность фосфоритоносных пачек. Целью исследований являлось получение количественных оценок положительных и отрицательных характеристик отдельных участков месторождения. Первая из этих характеристик называлась степенью фосфатоносности, вторая — трещиноватости, снижающей ценность участка.

Таким образом, первой особенностью рассматриваемого примера явилось то, что контуры участков неправильной формы задавались из горно-геологических условий, и поэтому отпала необходимость в решении задачи поиска оптимального квадрата осреднения. Вторая особенность данного примера состояла в привлечении к результатам анализа геологических признаков, способных охарактеризовать степень фосфатоносности и трещиноватости одного из участков месторождения. Всего для каждого из участков задано 18 признаков, входящих в геологическую и дистанцион-

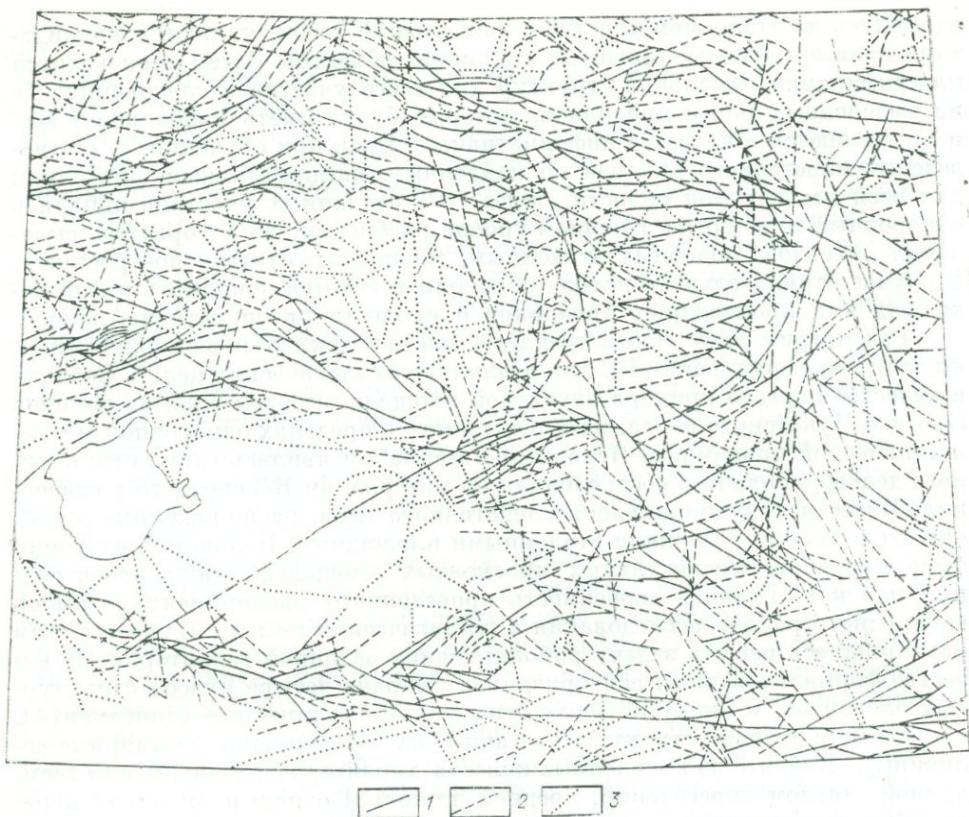


Рис. 1. Линеаментная сеть Восточной Тувы и Северной Монголии и ее обрамление по данным дешифрирования космических снимков «Метеор-29, -30».

Линеаменты и дуговые структуры: 1 — четкие и непрерывные, 2 — относительно менее четкие и (или) прерывистые, 3 — расплывчатые (линейные и дуговые орографические и ландшафтные аномалии).

ную группы. Третьей особенностью примера, вытекающей из цели исследования, было то, что поиск информативных признаков обеспечивал близкое к оптимальному разбиение участков на группы, т. е. в качестве оптимальных информативных признаков были найдены такие, которые обеспечивали, с одной стороны, максимальное группирование участков в однородные кластеры, например, с высокой степенью фосфатности, а с другой — минимальные связи этих участков с кластером, в который входит участок с повышенной трещиноватостью. Для каждой из рассматриваемых групп были заданы два эталонных участка. В результате проведенных исследований по указанной методике получены коэффициенты степени трещиноватости и фосфатности участков месторождения на стадии поисковых работ. При сравнении этих результатов с данными разведочных работ, которые были проведены на месторождении позднее, можно отметить их общее соответствие.

Третий пример. Описанная выше методика применена также для анализа линеаментной сети достаточно обширного и гетерогенного региона, обладающего сложной складчато-блоковой структурой. На рис. 1 показана линеаментная сеть Восточной Тувы и прилегающих частей Монголии, выявленная по КС среднего разрешения, полученных с ИСЗ «Метеор-29, -30». Математической обработке подвергнута площадь размером 450×450 км. Восточная и юго-восточная части региона относятся к Тувино-Монгольскому массиву допозднерифейской консолидации, крайний северо-запад — к каледонидам Западного Саяна. Остальная часть территории представляет собой спаянную кембрийским (салаирским) тектоногенезом переходную область, испытавшую частичное прогибание в связи с разви-

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----|
| 1 | A _I ¹ | A _I ¹ | B _I ¹ | B _I ¹ | A _I ¹ | A _I ¹ | A _{III} ¹ | A _{III} ¹ | A _{II} ³ | A _I ¹ | F _{III} ² | F _{III} ² | B _{III} ¹ | F _{III} ² | F _{III} ² | F _I ¹ | D _I ¹ | F _I ¹ | 18 | |
| 19 | A _I ¹ | B _I ¹ | B _I ¹ | B _I ¹ | F _{III} ² | A _{III} ¹ | A _{III} ¹ | A _{II} ³ | A _{II} ⁵ | A _{II} ³ | B _{II} ¹ | E _I ¹ | E _I ¹ | E _I ¹ | E _I ¹ | F _{III} ² | A _{II} ³ | A _{II} ³ | 36 | |
| 37 | A _{II} ³ | A _{II} ³ | B _I ¹ | A _{II} ³ | A _{II} ³ | E _I ¹ | A _{III} ¹ | D _I ¹ | A _{III} ¹ | A _{II} ³ | E _I ¹ | E _I ¹ | F _{III} ² | E _{II} ¹ | F _I ¹ | F _I ¹ | D _I ¹ | A _{III} ¹ | 54 | |
| 55 | E _{II} ² | E _{II} ² | E _{II} ² | E _{II} ² | C _I ¹ | C _I ¹ | A _{II} ³ | A _{III} ¹ | A _{III} ¹ | B _I ¹ | F _I ¹ | E _{II} ¹ | E _{II} ¹ | E _{II} ¹ | F _I ¹ | F _I ¹ | A _{III} ¹ | D _I ¹ | 72 | |
| 73 | A _{II} ³ | A _{II} ³ | A _{II} ³ | A _{II} ³ | B _{II} ¹ | F _{III} ² | A _{III} ¹ | A _{III} ¹ | A _{III} ¹ | A _{III} ¹ | F _{III} ² | F _I ¹ | E _{II} ¹ | E _{II} ¹ | F _I ¹ | F _I ¹ | F _{II} ¹ | D _I ¹ | 90 | |
| 91 | A _I ¹ | A _{II} ⁵ | A _{II} ³ | A _{II} ³ | A _{II} ³ | B _I ¹ | F _I ¹ | F _{II} ¹ | D _I ¹ | F _I ¹ | F _{II} ¹ | F _{III} ² | A _{III} ¹ | F _I ¹ | F _I ¹ | F _I ¹ | D _I ¹ | D _I ¹ | 108 | |
| 109 | B _I ¹ | B _I ¹ | B _I ¹ | B _I ¹ | A _{II} ² | A _{II} ² | F _I ¹ | F _{II} ¹ | F _{II} ¹ | F _{II} ¹ | A _I ¹ | D _I ¹ | A _{II} ¹ | A _{II} ³ | A _I ¹ | F _I ¹ | D _I ¹ | D _I ¹ | 126 | |
| 127 | B _I ¹ | B _I ¹ | E _I ¹ | E _{II} ² | E _I ¹ | A _{II} ² | F _{III} ² | F _I ¹ | F _{II} ¹ | F _{II} ¹ | E _I ¹ | E _{II} ² | E _I ¹ | B _{III} ¹ | B _{III} ¹ | F _I ¹ | F _I ¹ | D _I ¹ | 144 | |
| 145 | B _{II} ¹ | A _{II} ³ | A _{II} ³ | A _{II} ³ | A _{II} ² | A _{II} ² | E _{II} ² | E _{II} ¹ | B _I ¹ | B _{III} ² | E _I ¹ | F _{III} ² | B _{III} ¹ | B _{III} ¹ | B _{III} ¹ | F _{II} ¹ | F _{III} ² | D _I ¹ | 162 | |
| 163 | G _I ² | G _I ² | G _I ² | G _I ² | G _I ¹ | B _{III} ² | B _{III} ² | B _I ¹ | B _{III} ² | B _I ¹ | E _I ¹ | F _{II} ¹ | F _I ¹ | B _{III} ¹ | F _I ¹ | F _{II} ¹ | F _{III} ² | E _{II} ¹ | 180 | |
| 181 | G _I ² | G _I ² | G _I ² | G _I ² | G _I ² | B _{III} ² | B _{III} ² | G _I ¹ | E _{II} ¹ | D _{II} ¹ | D _{II} ¹ | F _I ¹ | E _{II} ¹ | E _I ¹ | E _{II} ¹ | D _{II} ¹ | D _{II} ¹ | F _{III} ² | 198 | |
| 199 | G _I ² | G _I ² | G _I ² | B _{III} ² | B _{III} ² | A _{II} ⁴ | G _I ² | G _I ² | F _{III} ² | D _{II} ¹ | B _I ¹ | E _{II} ¹ | E _I ¹ | E _I ¹ | E _I ¹ | F _{III} ² | D _{II} ¹ | D _{II} ¹ | 216 | |
| 217 | A _{II} ² | B _{III} ² | B _{III} ² | B _{III} ² | A _I ¹ | A _{II} ⁴ | B _{III} ² | B _{III} ² | C _I ¹ | B _I ¹ | B _I ¹ | A _{II} ⁴ | A _{II} ⁴ | F _{III} ² | E _I ¹ | E _I ¹ | D _{II} ¹ | D _{II} ¹ | 234 | |
| 235 | E _{III} ¹ | B _{III} ² | A _{II} ² | A _{II} ² | A _{II} ² | E _{III} ¹ | B _{III} ¹ | B _{III} ¹ | C _I ¹ | E _{III} ¹ | F _{III} ² | F _{III} ² | C _I ¹ | C _I ¹ | F _{III} ² | D _{II} ¹ | D _{II} ¹ | D _{II} ¹ | 252 | |
| 253 | G _I ² | G _I ² | G _I ² | G _I ² | E _{III} ¹ | A _{II} ² | A _{II} ⁵ | A _{II} ⁵ | A _{II} ⁵ | A _{II} ⁵ | A _{II} ⁵ | A _{II} ⁵ | A _{II} ⁵ | A _{II} ⁵ | A _{II} ⁵ | A _{II} ³ | A _{II} ³ | A _{II} ³ | A _{II} ³ | 270 |

Рис. 2. Результаты кластерного анализа признаков линейной сети Восточной Тувы и сопредельных территорий (r — функция цели). Буквой указана площадка, принадлежащая однородному кластеру на уровне $r = 0,6$, римской цифрой — на уровне $r = 0,7$, а арабской — на уровне $r = 0,75$.

тием Западно-Саянской геосинклинали, а затем интенсивнейшую тектономагматическую активизацию в девонское время [Геология СССР, т. XXIX, 1966]. Последняя фаза активизации тектонических движений в неоген-четвертичное время создала ту, бросающуюся в глаза на КС, ландшафтно-орографическую неоднородность региона, которая, несомненно, существенно сказалась на результатах дешифрирования его линейной сети.

Методические принципы дешифрирования, использованные при составлении схемы линейментов, а также характер выраженности линейментов данного региона в ландшафте и на фотоизображении подробно изложены в соответствующем разделе изданной коллективной монографии [Космическая информация..., 1983]. При компьютерной обработке все линейменты и дуговые структуры рис. 1 были признаны равнозначными. Методика и программа обработки линейментной сети близки к описанной ранее применительно к участку Охотско-Чукотского вулканогенного пояса [Шеремет и др., 1982]. Размер элементарной ячейки в соответствии с описанной ранее методикой его выявления [Шеремет, Моралев, Гоникберг, 1982] был принят равным 25×25 км. Отличие использованной в данном случае методики обуславливалось целью исследования, которая состояла в установлении связей элементов дешифрирования КС с элементами структурно-тектонической схемы. Другими словами, нам предстояло решить четвертую задачу предлагаемой методики: первичной классификации (районирования) выделенных величин признаков структурных линий.

В процессе формализации структурных линий выделено три главные группы признаков: линейные, кольцевые и точек пересечений различных структур. Всего в обработку введено 30 признаков, включающих также координаты элементарных квадратов. Дуговые и кольцевые структуры рассматривались совместно с линейментами и на тех же основаниях, что и последние, т. е. длина их включалась в поквадратную сумму длин линейментов.

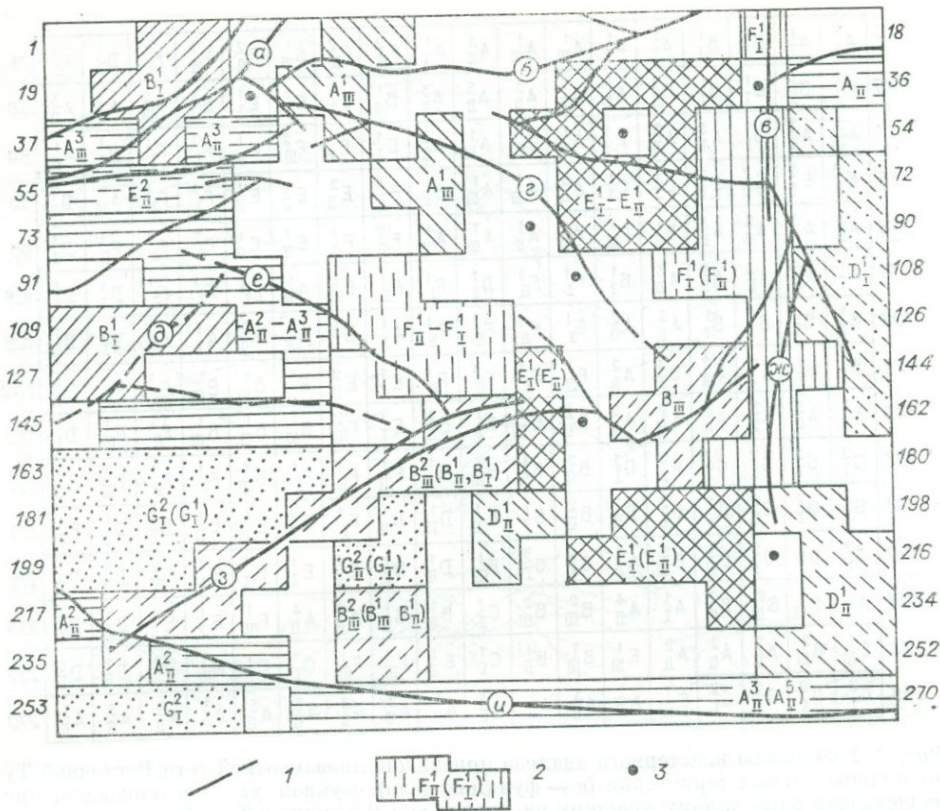


Рис. 3. Элементы районирования признаков линейamentной сети по результатам компьютерного анализа.

1 — основные глубинные разломы, шовные и граничные зоны, разделяющие разнородные структурно-тектонические участки земной коры, в том числе: а — Хемчик-Куртушибинский, б — Азасский, в — Улугаргинский, г — Кахемский, д — Убсунур-Бийхемский (фрагмент), е — Северо-Таннуольский, ж — Аршанский, з — Агардагский, и — Хангайский; 2 — площади с сопоставимым по данным машинной обработки (см. рис. 2) рисунком линейamentной сети (индекс соответствует однородному кластеру (или кластерам), по которому выделена данная площадь; в скобках — менее характерные для данной площади кластеры); 3 — элементарные однородные площади (кластер F_{III}^2), соответствующие участкам сочленения разноориентированных протяженных разрывных зон.

Результаты компьютерной корреляции 270 элементарных ячеек посредством классификации их в однородные группы показаны на рис. 2. Схема совместной интерпретации полученных результатов кластерного анализа (см. рис. 2) и элементов разрывной тектоники изображена на рис. 3. На основании такой интерпретации делалась оценка применимости использованной методики для районирования сложно построенных гетерогенных областей по характеру их линейamentной сети.

Первое, что бросается в глаза на составленной схеме (см. рис. 3), это, конечно, поля в юго-западной части площади, соответствующие Убсунурской и Хиргиснурской новейшим впадинам, практически лишенным линейamentов (кластер G_I). Далее, выделились зоны Хангайского и Агардагского разломов, а также однотипные или достаточно близкие к ним по данным компьютерного анализа участки в других частях региона, как правило, всегда включающие в себя фрагменты крупных близширотных, западо-северо-западных и северо-восточных линейamentных зон и оперяющие их структуры. В восточной части региона обособилась меридиональная зона, включающая в себя показанные на рис. 3 Улугаргинский и Аршанский линейamentы и многочисленные структуры близких к ним простираний. Близким к этой зоне по характеру линейamentного рисунка оказывается и достаточно обширное поле, примыкающее с севера к Северо-Таннуольскому и Агардагскому разломам.

В некоторых случаях компьютерная обработка как бы намечает области развития линеаментных рисунков, специфичных для определенных геоструктурных единиц (блоков) или для определенных типов субстрата. Так, большая часть расположенного к востоку от Аршан-Улугаргинской зоны Билино-Дархатского блока (часть Тувино-Монгольского докембрийского массива) охватывается в пределах рассматриваемого региона двумя выделенными на основе кластерного анализа полями (кластеры D_I^1 и D_{II}^1), южному из которых оказывается аналогичным участок в центральной части Сангиленского массива. Значительная площадь на востоке Сангиленского докембрийского массива, по данным компьютерного анализа, сопоставляется с обширным полем между Азаским и Кахемским глубинными разломами, соответствующим Харальскому и частично Восточно-Тувинскому (Кызылхемскому) докембрийским блокам. Этот же кластер E_I^1 (E_{II}^1) оказывается характерным и для небольшого Вехнебуренского блока докембрия; таким образом, получается, что на удалении от крупных разрывных зон фрагменты Тувино-Монгольского докембрийского массива обладают достаточно характерным рисунком линеаментной сети, практически не повторяющимся (на сколько-нибудь значительных площадях) в более западной части региона.

Выделяются также сопоставленные компьютером друг с другом изолированные элементарные ячейки, характеризующиеся достаточно аномальным и сложным линеаментным рисунком и отвечающие участкам сочленения разноориентированных протяженных разломов и линеаментных зон. Интересно, что к некоторым из этих ячеек приурочена потенциально перспективная эндогенная минерализация.

Приведенные примеры намечают возможности и ограничения дальнейшего использования разработанной авторами методики интерпретации линеаментных сетей посредством компьютерной обработки их числовых параметров. Представляется, что оптимальные по своей геологической эффективности результаты могут быть получены для районов, характеризующихся относительно высокой геологической и физико-географической однородностью. В этих случаях предложенная методика, по-видимому, может выявить аномальные в структурном отношении участки (погребенные блоки, зоны скрытых расколов фундамента, узлы их пересечения и пр.), не распознаваемые в поверхностной геологической структуре традиционными геологическими методами, в том числе и обычным дешифрированием космоаэроснимков.

ЛИТЕРАТУРА

- Белман Р. Введение в теорию матриц.— М.: Наука, 1969.— 367 с.
- Белобородов М. А., Коген В. С. Использование космофотогеологических карт при прогнозе рудных районов.— Исследование Земли из космоса, 1980, № 2, с. 34—43.
- Геология СССР. Т. XXIX. Тувинская АССР.— М.: Наука, 1966.— 459 с.
- Дюран Б., Отдел П. Кластерный анализ.— М.: Статистика, 1977.— 155 с.
- Космическая информация в геологии.— М.: Наука, 1983.
- Лоули Д., Маквелл А. Факторный анализ как статистический метод.— М.: Мир, 1967.— 144 с.
- Подвысоцкий М. Х., Мойк Дж., Шоуп У. К. Количественная оценка линеаментов при ручной и машинной методике обработки.— В кн.: Космическая геология. Л.: Недра, 1979, с. 323—329.
- Сулейманов Э. С., Нечаев Ю. В., Ахундов Р. А., Мустафьев И. М. Оценка глобальной трещиноватости земной коры по космическим снимкам.— Сов. геология, 1978, № 11, с. 105—111.
- Шеремет О. Г., Моралев В. М., Гоникберг В. Е. О способе определения оптимальной площади осреднения геометрических параметров рисунков линеаментных сетей.— Исследование Земли из космоса, 1982, № 4, с. 15—19.
- Шеремет О. Г., Моралев В. М., Перфильев Ю. С., Рейтлингер А. С. Методика количественной обработки результатов дешифрирования космических снимков для решения геологических задач.— Исследование Земли из космоса, 1982, № 5, с. 12—19.

Шермет О. Г., Перфильев Ю. С., Моралев В. М. Особенности методики линеаментно-го анализа при горно-геологической оценке месторождения фосфоритов на примере Буренханского месторождения.— Исследование Земли из космоса, 1983, № 6, с. 30—38.

Уилкинсон Дж. Х. Алгебраическая проблема собственных значений.— М.: Наука, 1970.— 564 с.

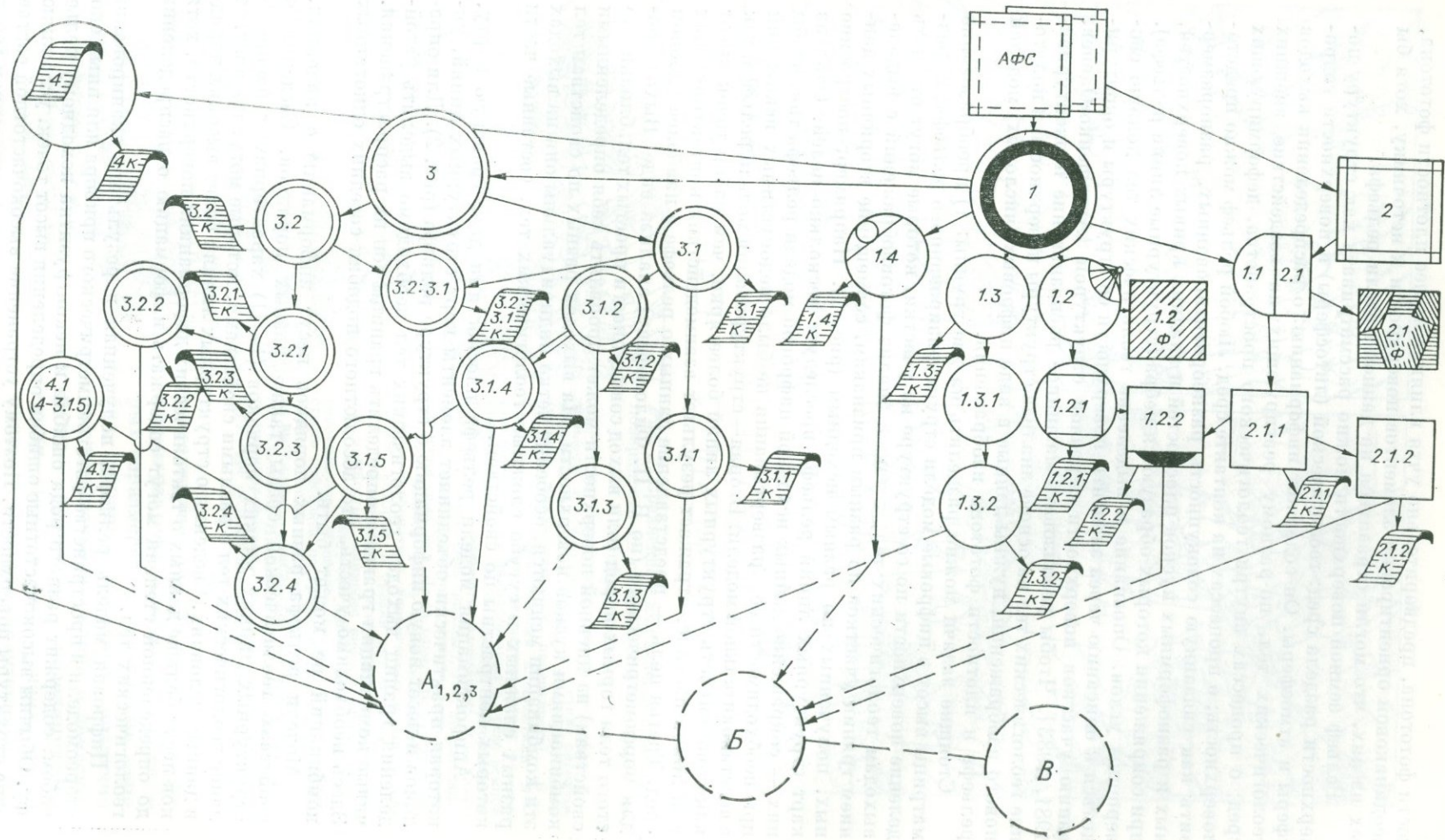
И. В. АНТОЩЕНКО-ОЛЕНЕВ

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ

Традиционно при описании признаков дешифрирования предполагают, что дешифрируются геологические тела с определенной геолого-петро-(лиито)логической характеристикой, дизъюнктивные геологические тела и т. д. [Петрусевиц, 1962; Аэрометоды..., 1971; Кац и др., 1976; и др.], но фотообразы разных объектов могут не различаться между собой, а одного и того же объекта могут меняться в каких-то пределах. Сами объекты отвечают сложным геологическим понятиям: горным породам определенного типа и возраста, изменениям горных пород, сочетаниям геологических тел разного вещественного состава и одного возраста. Следовательно, фотообразы подобны идеограммам, а накопление их можно сравнить с созданием иероглифического письма: 1 — иероглифы неоднозначны (из-за конвергенции фотообразов), 2 — они многообразны для однотипных объектов и не могут быть все учтены (иероглифов в системе письма всегда будет меньше, чем требуется). Чтобы избавиться от этих недостатков, надо отказаться от «иероглифов» и попытаться создать «алфавит» из однозначных опознаемых и строго описываемых, измеряемых на фотографии и стереомодели рельефа элементов поверхности, комбинации которых позволили бы опознавать и разделять геологические объекты. Для более полного опознавания, для выявления геологических тел, демаскируемых распределением грунта с разной отражательной способностью, разными группировками растений, нужно исследовать структуру распределения плот-

Рис. 1. Технологическая схема дешифрирования в варианте для автоматизированного процесса.

АФС — стереопары аэрофотоснимков, космофотоснимков; 1 — цифровая модель рельефа (ЦМР); 2 — цифровая модель фотоснимка (ЦМС); 3 — матрица (М) линий перегибов поверхности и точек вершин телесных углов (цифровая модель особых точек поверхности); 4 — цифровая модель (ЦМ) карты изогонис. 1.1 : 2.1 — ЦМ ортофотоснимка (2.1.ф — ортофотоснимки, фотопланы); 2.1.1 — матрица границ участков с разной плотностью фототона (2.1.1.к — карта плотностей фототона); 2.1.2 — ЦМ текстур и структур фотоизображения (2.1.2.к — карты участков поверхности, различающихся на фотоизображении по текстурным и структурным признакам); 1.2.2 — ЦМ границ участков с разной отражательной способностью (разность ЦМ 2.1.1 и 1.2.1) (карта отражательных свойств поверхности — 1.2.2.к). 1.2 — ЦМ «теневого» снимка («подсвета» модели рельефа, положение источника света) соответствует положению Солнца в момент аэрофотосъемки) (1.2.ф — «теневого» фотоснимок); 1.2.1 — М границ участков с разной освещенностью (1.2.1.к — карта границ теней). 1.3 — ЦМР, аппроксимированного плоскостями (1.3.к — «граневая» карта); 1.3.1 — М границ простых комбинаций граней; 1.3.2 — М границ зон однотипных комбинаций граней (1.3.2.к — карта границ геологических тел, выраженных в рельефе). 1.4 — М значений уклонов поверхности (1.4.к — карта изоклин). 3.1 — М линий тальвегов долинных понижений, линии седловины (3.1.к — карта тальвегов (долин)); 3.1.1 — М аномальных уклонов продольных профилей рек (тальвегов) (3.1.1.к — карта аномальных уклонов тальвегов); 3.1.2 — М линий тальвегов разных порядков (3.1.2.к — карты порядков долин (тальвегов)); 3.1.3 — ЦМ карты густоты эрозионного расчленения (3.1.3.к — карта изоклин густоты эрозионного расчленения); 3.1.4 — М значений коэффициента изотропности субстрата (3.1.4.к — карта изотропности субстрата); 3.1.5 — ЦМ базисных поверхностей (полипорядковых, однопорядковых) (3.1.5.к — карты базисных поверхностей). 3.2 : 3.1 — М значений глубин врезов (разность 3.2 и 3.1) (3.2 : 3.1.к — карты глубины расчленения). 3.2 — ЦМ водоразделов (3.2.к — карта линий водоразделов); 3.2.1 — М линий водоразделов разных порядков (3.2.1.к — карты порядков водоразделов); 3.2.3 — ЦМ вершинных поверхностей (полипорядковых, однопорядковых) (3.2.3.к — карты вершинных поверхностей); 3.2.2 — М значений коэффициента изотропности субстрата (3.2.2.к — карта изотропности субстрата); 3.2.4 — ЦМ разности карт вершинных и базисных поверхностей (3.2.4.к — карты вершинных и базисных поверхностей). 4.к — карта изогонис; 4.1 — ЦМ карты остаточного рельефа (разность 4 (или 1) и 3.1.5 (полипорядковых)) (4.1.к — карта остаточного рельефа). А₁ — матрица совмещенных морфометрических карт и граневой карты. А₂ — матрица границ участков поверхности, различающихся по комплексу морфометрических показателей, по значениям коэффициентов изотропности и отредактированных по границам граневой карты. А₃ — легенда к карте границ участков, описания участков по набору признаков, интерпретация. Б — матрица карт геологического дешифрирования, дополненная данными о структуре выходов геологических тел по структуре растительного покрова, распределению почвогрунтов, новая редакция выделенных А₂ границ по 2.1.2 и 1.2.2. Легенда карты. В — карты геологического дешифрирования (контурные карты-основы).



ности фототона, предварительно учтя влияние на нее плотности фототона, неодинаковой ориентировки элементов поверхности к источнику, хотя бы тех из них, что могли отразиться на данной модели рельефа.

Рельеф земной поверхности можно рассматривать как структуру поверхности раздела сред: геологической (литосферы) и поверхности гидросферы и атмосферы. Он содержит информацию: о распределении выходов геологических тел, по-разному реагирующих на воздействие внешних сред; о процессах внутри геологического пространства, деформирующих поверхность; о процессах на контакте сред. Любой рельеф можно представить как связанную совокупность разноориентированных, разноразмерных и разноформных кусков плоскостей и гладких кривых поверхностей, при сопряжении которых образуются ребра (структурные линии рельефа), вершины углов. Опознавание и выделение геологических тел должно сводиться к описанию через элементы поверхности ее структуры и оконтуриванию участков поверхности с разной структурой [Антощенко-Оленев, 1981, 1983]. Чтобы реализовать машинное распознавание и оконтуривание геологических тел на основе анализа структуры поверхности и полутонного изображения, нужны данные в виде цифровых (числовых) моделей рельефа и плотности фототона изображения.

Стоящие задачи можно разделить на две группы: 1) преобразование матрицы высот в цифровые модели структурированного рельефа; 2) разделение поверхности по ее структуре на участки, которые могут отвечать выходам геологических тел, а также анализ фотоизображений с выделением границ участков по разным признакам, совмещение вторичных данных, полученных по разным исходным (рис. 1). Например, построение карт структурных линий рельефа преследует несколько целей. Одна из них — сокращение данных исходной цифровой модели рельефа так, чтобы при необходимости ее развертывания не было недопустимых искажений в восстановительной модели. Вторая — структуризация модели рельефа, так как совокупность структурных линий более ярко, чем набор точек высот или линий изогипс, отражает результат взаимодействия контактирующих сред. Третья цель — представление данных о рельефе в наиболее удобном для морфометрического (по В. П. Философову) анализа виде. Выход простого тела горных пород (или выход совокупности простых тел, близких по свойствам) на дневной поверхности может проявлять себя определенными комбинациями кусков поверхности. На выходах разных по свойствам тел эти комбинации меняются, особенно четко индивидуальны они на выходах разных сложных и сугубо сложных геологических тел, составные части которых контрастны по свойствам.

Аппроксимация модели рельефа плоскостями дает граневую карту, которая практически объединяет элементы карт структурных линий, уклонов и несет новую информацию о структуре рельефа (рис. 2). Для определения границ выходов геологических тел необходимо выделить устойчивые комбинации граней и определить границы зон их распространения. Здесь необходимо учесть, что абсолютного подобия соседних однотипных комбинаций не может быть.

Модели рельефа разных порядков несут информацию о явлениях, свойствах геологической среды также разных порядков. Сведения о структурных линиях низких порядков (I—II) характеризуют распределение геологических тел с разными свойствами, которые могут проявиться в данных условиях. Сведения о структурных линиях более высоких порядков несут больше данных о тектонических деформациях поверхности, хотя до определенной степени могут содержать информацию о распределении геологических тел.

Цифровая модель рельефа, полученная в результате сканирования стереомодели в пространстве фотограмметрического прибора или иным способом, содержит разного рода ошибки и неконгруэнтна исходному рельефу. Обычны высокочастотные ошибки определения высот точек, усложняющие структуры поверхности. Поэтому устранение высокочастотной составляющей улучшает модель для последующего анализа с выделением геоло-



Рис. 2. Сравнение изображений структуры поверхности со схемой геологического дешифрирования.

А — схема структурных линий рельефа: 1 — тальвеги; 2 — водоразделы; 3 — четкие вогнутые перегибы скатов; 4 — днища некоторых долин (речные аккумулятивные поверхности). В — рельеф, аппроксимированный плоскостями. В — схема геологического дешифрирования: 1 — линии поверхности напластования в срезе земной поверхности; 2 — линии трещин, тектонических разрывов; 3 — элементы залегания; 4 — аллювиальные накопления (рыхлые); 5 — пролювиальные накопления (рыхлые); 6 — делювиальные накопления (рыхлые). Из-за того, что субстрат образован толщей часто переслаивающихся терригенно-карбонатных, терригенных пород, устойчивость которых к эрозии меняется от слоя к слою незначительно, тела характеризуются малой мощностью, наименее информативной оказалась сеть структурных линий типа тальвегов и водоразделов. Наиболее полно отражена слоистость субстрата на граневой карте (рельеф аппроксимирован плоскостями), хотя участками она не выражена — комбинации «изометричных» многоугольников. Наиболее полно строение субстрата расшифровывается при дополнении данных о структуре рельефа данными о распределении растительности.

гических тел, тем более что микроформы рельефа склонов, размах которых соразмерен со значениями ошибок, обычно проявляют различия рыхлого покрова склона и демаскируют процессы, моделирующие склон. Даже в тех случаях, когда микрорельеф характеризует какие-то свойства «коренного» суб-

страта, важно исследовать более крупные морфологические особенности склонов. Анализ распределения значений различных морфометрических параметров рельефа при разделении поверхности на участки, отвечающие выходам геологических тел разной денудационной и эрозионной устойчивости, определенной степени изотропности, выполняется по данным трех типов.

Первые, хотя и относятся к точкам модели, отражают всегда участки площади. Таковы показатели густоты и глубины расчленения. Положение границ объектов, выделенных по таким данным, будет «плавающим» и зависит от размеров «скользящего окна», степени перекрытия окон при сканировании и т. д. Второй тип представлен редкими нерегулярными данными, оценивающими элементы рельефа относительно смежных; характеристика земной поверхности относится к точке или участку. Таковы данные об аномальных уклонах продольных профилей рек. Третий тип данных — регуляторные, которые снимаются для каждой точки модели и характеризуют только ее или ее положение относительно смежных. Например, к третьему типу можно отнести данные об уклонах поверхности, о распределении плотности фототона на изображении.

Из-за особенностей исходных данных, используемых при построении карт границ участков поверхности с разной структурой, карты содержат неодинаковую по точности и степени достоверности информацию. При совмещении карт число выделенных на каждой из них объектов не только может не совпадать, но даже при полном совпадении числа объектов, одинаковости их взаиморасположения положение границ этих объектов может быть разным. Из множества вероятных границ одного объекта надо оставить одну, удовлетворяющую требованиям к точности нанесения границ геологических тел на геологических картах. Наиболее точно положение границ может быть определено по данным третьего типа. Могут быть использованы для контроля данные второго типа, но не результаты их интерполяции.

ЛИТЕРАТУРА

- Антощенко-Оленев И. В. Схема автоматизированного анализа АФС с построением схем геологического дешифрирования. — В кн.: Автоматизированные системы обработки изображений АСОИЗ-81. Тезисы докладов I Всесоюзной конференции. М.: Наука, 1981, с. 198—199.
- Антощенко-Оленев И. В. Рельеф Земли как структура поверхности раздела сред. — Геоморфология, 1983, № 3, с. 35—40.
- Аэрометоды геологических исследований. — Л.: Недра, 1971. — 704 с.
- Кац А. Г., Рябухин А. Г., Трофимов Д. М. Космические методы в геологии. — М.: Изд-во МГУ, 1976. — 246 с.
- Петрусевич М. Н. Аэрометоды при геологических исследованиях. — М.: Гостеолтехиздат, 1962. — 220 с.

Л. И. МОРОЗОВА, О. М. БОРИСОВ

ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛИТОСФЕРЫ С АТМОСФЕРОЙ

В современном развитии геологии четко проявлены две главные тенденции: во-первых, стремление проникнуть за пределы литосферы (в глубины Земли и космоса) и, во-вторых, объединение усилий различных наук с целью комплексного решения геологических проблем. Наиболее четко эти две тенденции обозначились в космическую эру, когда стало ясно, что многие процессы и явления на Земле невозможно понять и объяснить, если рассматривать их изолированно от протекающих процессов в ближнем и дальнем космосе.

С появлением космических методов исследования природной среды открылась возможность одновременного наблюдения процессов в атмосфере, гидросфере и литосфере, имеющих различную динамику. На эту особенность и преимущество космических снимков указывал академик А. В. Сидоренко [1981]: «Задачами космического землеведения является интеграция закономерностей всех естественных наук о земле для установления закономерностей общих процессов, проходящих в атмосфере, биосфере Земли, гидросфере и литосфере, установление взаимосвязи и взаимообусловленности процессов и явлений в геосферах Земли».

Взаимодействие трех оболочек Земли — атмосферы, гидросферы и литосферы — обусловлено космическими, геолого-геофизическими причинами, а также антропогенным влиянием. Многие космические факторы, например изменения светимости Солнца (солнечная активность), угла наклона земной оси, формы земной орбиты, скорости вращения и кривизны Земли, так или иначе влияли на климат Земли.

Космическими факторами обусловлены процессы, затрагивающие в основном верхний слой литосферы. Под их влиянием формируется ландшафтная оболочка Земли, происходят изменения атмосферной циркуляции. Тесная связь между движениями атмосферы, гидросферы и геологическими процессами в литосфере обусловлена действием одних и тех же сил. Так, вращательное движение Земли воздействует на строение и перемещение масс земной коры и подкорового вещества так же, как и на циркуляцию атмосферы. В далеком геологическом прошлом земная кора была более пластична, чем сейчас, и это привело к образованию в ней крупных вихревых структур, впервые обнаруженных на спутниковых снимках. Положение дуг океанических островов также определяется особенностями глубинного строения и динамики литосферы. По кривизне этих дуг и их ориентации можно восстановить центры циркуляции вещества мантии [Назиров, 1975]. На первых этапах развития нашей планеты взаимодействие оболочек Земли выражалось в ограничивании горными поднятиями тангенциального движения гидросферы и атмосферы. Ответная реакция на литосферу и мантию проявляется в действии приливов [Личков, 1962].

Источником энергии геолого-геофизических процессов служат внутренние силы Земли. Следствием действия этих сил являются тектонические движения, приводящие к горообразованию, вулканизму, землетрясениям, изменению береговой линии. Направленность этих процессов такова, что в силу их проявлений происходит непрерывное разрушение горных пород под действием Солнца, атмосферных и гидросферных факторов. Реки и воздушные течения переносят огромные массы пыли и обломочного материала с континентов в океаны. Только благодаря наличию на Земле атмосферы и гидросферы существует возможность возникновения осадочных пород.

Геолого-геофизическими причинами обусловлен, в частности, влаго- и теплообмен земной поверхности, который осуществляется через атмосферу, океан, биосферу и литосферу. При этом влияние атмосферы на климат длится от нескольких часов до нескольких столетий. С гидросферой связаны изменения климата, имеющие периодичность от десятков лет до нескольких тысячелетий, под влиянием биосферы и литосферы происходят изменения климата, длящиеся миллионы лет. Такие длительные глобальные перемены климата обычно бывают связаны с отступлением и наступлением морей, с изменением положения материков или литосферных плит. Наибольшее воздействие на климат Земли оказывает дрейф литосферных плит.

Одним из ярких примеров взаимодействия литосферы с атмосферой служат извержения вулканов. Они являются основной причиной запыленности атмосферы как в геологическом прошлом, так и в современную эпоху. Во время извержений в атмосферу выбрасывается огромный объем газов, пепла, пыли, которые продолжительное время находятся в ней во взвешенном состоянии. Твердые аэрозоли уменьшают прозрачность атмосферы, а углекислый газ создает парниковый эффект, ослабляя тем самым

солнечную радиацию, падающую на земную поверхность, вызывая перестройку атмосферной циркуляции и понижение температуры воздуха в глобальном масштабе. Обнаружить облака, генерируемые вулканами, можно со спутников, хотя последние не в состоянии их отличить порой от обыкновенных облаков.

Результатом взаимодействия литосферных и атмосферных факторов являются поля эоловых форм разной ориентировки, отражающие следы ветро-эрозионной деятельности отдаленных эпох и в макрочертах соответствующие современному направлению ветра. Эти поля также впервые были обнаружены на космоснимках.

Связь облачных элементов с тектоническими нарушениями и особенностями строения литосферы отмечена уже давно [Мушкетов И. В., Мушкетов Д. И., 1935]. В разные времена года на космоснимках наблюдается повторяющийся рисунок распределения облаков, оконтуривающих геологические структуры. Облака вытягиваются полосами разной ширины в одних районах и постоянно отсутствуют над другими участками [Кравцова, Низкая, 1983]. Однако может наблюдаться и противоположный эффект — размывание облачности над разломами [Морозова, 1980]. Генерация таких облачных полей геологическими объектами может служить дополнительным признаком местонахождения данных объектов.

Проявление разрывных нарушений на КС является следствием термо-, гидро-, электрических эффектов, приводящих в общем случае к интенсификации тепло- и массопереноса флюидов в пористой среде, а также к преобразованию органического вещества в углеводороды. На космоснимках наиболее отчетливо выражены разломы, отвечающие обстановке растяжения и увеличенной проницаемости земной коры, служащие каналами для циркуляции флюидов, представляющие собой зоны повышенного увлажнения [Розанов, 1980]. К зонам разломов приурочены геотемпературные аномалии и повышенные величины плотности тепловых потоков, способных вызывать перемещение флюидов на расстояние от нескольких десятков до сотен километров [Иванов и др., 1978]. Однако важны и факты, присущие радиоактивной эманации, например воздействие излучающей ее способности на ионизацию воздуха. Последнее приводит к увеличению электрической проводимости, отмечаемой по аномальному полю в атмосфере. Эманирование при определенных метеорологических условиях сопровождается генерацией или деградацией облачности. Нужно отметить, что анализ случаев с облаками над разломами с учетом состояния атмосферы даст более надежный вывод о причинах облачных аномалий, чем анализ одних только космических снимков.

Рассмотрим пример размывания облачности над разрывными нарушениями («Метеор-30», 02.XII.82 г.; рис. 1). Облачное поле в районе Букантау имеет общую конфигурацию и разрывы явно не метеорологической природы. Узкие дугообразные просветы в облаках в совокупности представляют собой эллипс. Проекция этого эллипсовидного просвета на земную поверхность совпадает с Букантауской кольцевой структурой. Облачность находится в слое от 500 м до 6 км от поверхности земли, не выше. Наиболее четкий разрыв облаков наблюдается на южной периферии кольцевой структуры (точка В). Помимо кольцевой структуры в поле облачности выделяются еще три линеамента: линии АБ, ВГДЕЖ и ЗИ на рисунке. АБ является частью Букантауского разлома, ВГДЕЖ — часть Букантау-Боролдайского линеамента, линия ЗИ по направлению не совпадает с ближайшим Мынбулак-Кокянгакским линеamentом, но, по-видимому, обусловлена именно им. Полоса размыва облачности на снимке 8-миллионного масштаба вдоль линии ВГДЕЖ достигает 3 мм, что соответствует 24 км на земной поверхности. На восточном конце линеамента происходит размывание облаков уже в другом облачном поле, в воздушной массе с другими характеристиками, чем в западном облачном массиве. Однако интенсивность процесса везде одинаковая. Ориентация линеамента в облачном поле несколько отличается от наземной, но все же этот размыв облаков обусловлен именно этим линеamentом. Линия ЗИ представляет

собой хорду, ограничивающую с юга упомянутое выше облачное поле с дугообразной южной границей. Граница между облачным полем и безоблачным пространством очень резкая. Ни один процесс в атмосфере, среде с низкой вязкостью, не может дать такой резкой границы — смены атмосферных характеристик. Топографией эту границу тоже объяснить нельзя. Единственно допустимая причина появления всех этих прямолинейных и дуговых безоблачных промежутков может быть заключена во влиянии геологических объектов земной коры. Что здесь оказало решающее влияние — тепловой поток или флюиды — определено сказать нельзя, хотя тепловой поток расположенного здесь локального геотермального максимума и мог бы, выходя по прямолинейным и кольцевым линеаментам, оказать разрушающее влияние на облачность.

В рассмотренном ниже примере со снежным покровом над Букантау стаивание снега происходило по всему поднятию, что являлось следствием геотермальных потоков.

Летом над Букантау-Борлдайским линеamentом наблюдался противоположный эффект («Метеор-31», 05.VI. 82 г.; рис. 2). В атмосфере над Средней Азией синоптическая ситуация следующая. На эту территорию вторгся холодный воздух с севера. В этой влажной воздушной массе (по сравнению с предшествующей) над указанным линеamentом образовалась гряда высококукучевых облаков небольшой вертикальной мощности на высоте около 5 км (линия АБ). В это время года над раскаленной пустыней облака ниже не образуются. Гряда протянулась от Амударьи (район Мешекли) до Сырдарьи (р. Чиили) и немного не совпадает с наземной линией соответствующего линеamenta. Восточный конец линеamentной облачной гряды проникает в облачный массив атмосферного холодного фронта вблизи Сырдарьи, но и в этом массиве облачность, обусловленная геологическими факторами, обособлена от фронтальной (узкая прямолинейная гряда среди хаотически расположенных облаков — линия аБ). В отличие от гряд облаков, обусловленных погодообразующими факторами, более хаотично

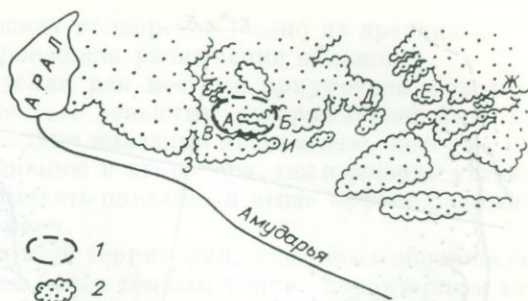


Рис. 1. Схема размывания облачности над кольцевой структурой и разломом (1 — кольцевая структура Букантау, 2 — облака; пояснения в тексте).

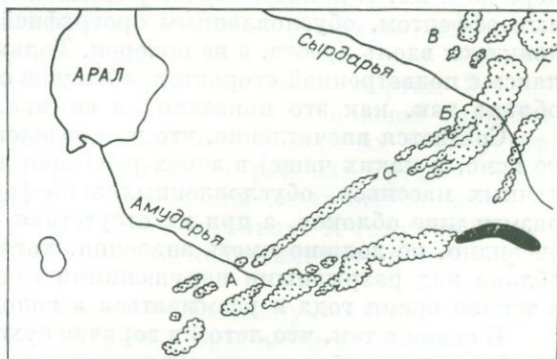
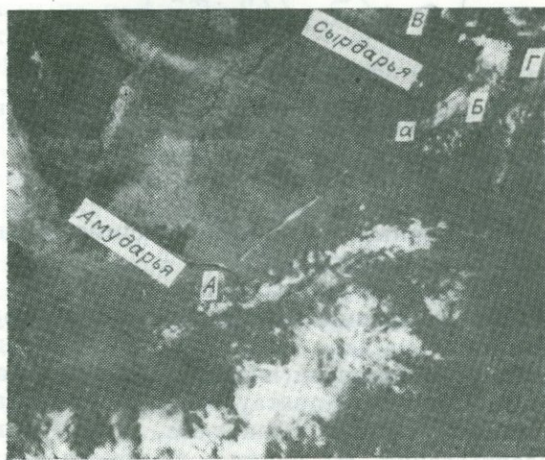


Рис. 2. Образование гряды облачности над разломом в Кызылкумах и размывание в Каратау.

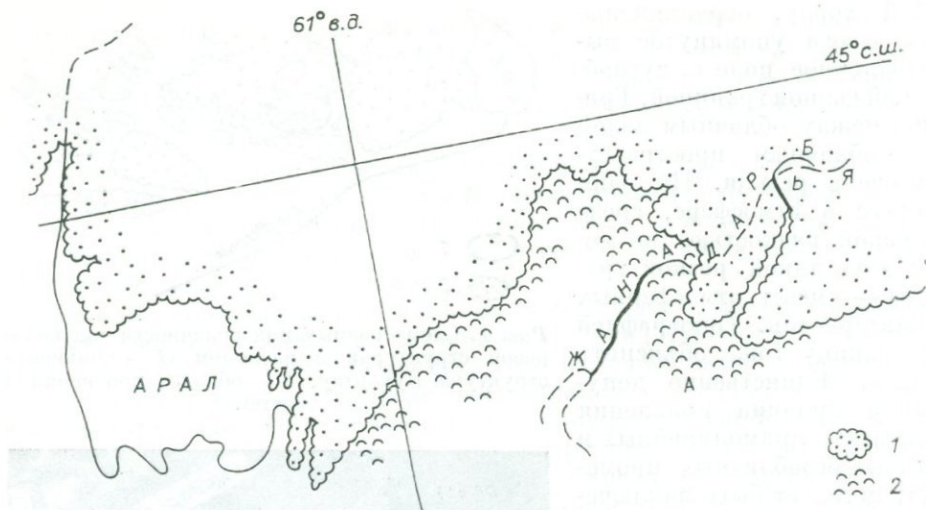


Рис. 3. Размывание облачности над предполагаемым руслом (А — Б) палеореки (1 — сплошная облачность, 2 — облака).

расположенных и мощных, облачные гряды над разломами имеют прямо линейную ориентировку.

На этом же снимке, в правом верхнем углу, над хр. Каратау запечатлен момент размывания облачности метеорологического происхождения. Облачный массив, вытянутый с юго-запада на северо-восток, движется вместе с воздушным потоком вдоль хр. Каратау, как бы нанизываясь на него. Вдоль хр. Каратау под узкой безоблачной полосой проходят четыре разлома: Линия Николаева, Кентауский, Бозбутаг-Боролдойский и Леонтьевский. Их влияние сказывается над уровнем земли, по крайней мере до 6 км. В данном случае размывание облачности не является фоновым эффектом, обусловленным орографией, поскольку воздушный поток движется вдоль хребта, а не поперек. Только в последнем случае он, опускаясь с подветренной стороны хребта уже сухим и нагретым, размывал бы облака так, как это показано на снимке.

Создается впечатление, что в определенных погодных условиях (пока не ясно, в каких чаще) в зонах разломов и линейных элементов при наличии облачных массивов, обусловленных атмосферными факторами, происходит размывание облаков, а при их отсутствии — возникновение. Время года, очевидно, не должно иметь значения, хотя над равнинами Средней Азии облака над разрывными нарушениями имеют тенденцию образовываться в теплое время года и размываться в холодное.

В связи с тем, что летом в горячем сухом воздухе пустыни происходило образование облачности над разломами, ее генератором не мог являться тепловой поток из недр. Остаются две вероятные причины — радиоактивная или газовая эманация.

Особое место среди всех рассмотренных случаев занимает явление, обнаруженное с помощью космического снимка с «Метеора-29» (21.III. 80 г.; рис. 3). На южной границе обширного мощного по вертикали (до 8 км) облачного поля над низовьями Сырдарьи видна темная извилистая полоса, по конфигурации напоминающая русло реки (линия АБ). Эта полоса обусловлена размытием в ее пределах облачности, резко выраженным в более тонком слое облаков на краю облачного массива и менее ярким в мощном и плотном облачном поле севернее, ближе к центру циклона, в верховьях этой облачной «реки». На поверхности земли реки здесь нет, нет даже временного или старого русла. Протекающая западнее Жанадарья видна на снимке достаточно отчетливо — над ней безоблачное пространство. Обнаруженный эффект не может быть объяснен ее влиянием.

Возможно, здесь погребена в песках палеорека — одно из древних русел Сырдарьи и под ее влиянием произошло размывание облаков.

Известно, что к древним руслам рек местами приурочены полезные ископаемые, скопления органического вещества, которое может быть источником углеводородов. Как твердые полезные ископаемые, которые могут излучать радиоактивную эманацию в атмосферу, так и флюиды углеводородистых соединений могут вызвать описанный выше эффект размывания облаков вдоль русла палеореки.

На многочисленных снимках этой территории, лишенных облачности, русло этой палеореки выделяется более темным тоном, характерным для повышенной влажности, в особенности на снимках, сделанных в ближней ИК области спектра (0,7—4,1 мкм). В работах, посвященных палеорекам, ничего не говорится о существовании здесь древнего русла Сырдарьи, обнаруженного на КС. Эту гипотезу может убедительно подтвердить только бурение в этом районе.

На основании существующих на космоснимках признаков, определяющих положение различных форм облачности над землей, делаются выводы о толщине слоя атмосферы, подвергающегося влиянию разлома для каждого конкретного случая.

В последнее время, с начала использования космоснимков в геологии, стала решаться так называемая обратная задача — обнаружение дистанционными методами геотемпературных аномалий. В будущем с повышением качества приемной и съемочной аппаратуры предполагается использовать для этой цели инфракрасные снимки с космических систем. Однако уже сейчас изучение геотермических полей по космоснимкам видимого диапазона возможно на основе анализа косвенных признаков, таких как, например, снежный покров. На основании изучения динамики снежного покрова делались выводы о положении глубинных источников тепла.

На космоснимках Кызылкумов холодного полугодия на фоне окружающего снежного поля были обнаружены темные пятна. Области этих темных пятен на земной поверхности характеризует быстрое таяние снега по сравнению с прилегающей территорией. Была сделана попытка связать эти пятна с локальными геотермическими аномалиями, обнаруженными геофизическими методами. Тепловой режим поверхностных слоев определяется в основном солнечной радиацией, а глубинных зависит главным образом от внутренних источников тепловой энергии Земли. В ряде случаев из-за наличия тепломассопереноса и большой глубины залегания уровня грунтовых вод слой постоянных годовых температур опускается до 100—300 м в горных и пустынных районах Средней Азии [Смирнов, 1980]. Таким образом, влияние Солнца очень осложняет анализ теплового потока в Средней Азии по космоснимкам. К тому же устойчивой конфигурации заснеженности на Туранской низменности в процессе схода снега не наблюдается.

На примере анализа снимка территории Кызылкумов (поднятие Букантау, высота 764 м; «Метеор-29», 28.II.80 г.) рассмотрено влияние глубинного потока тепла на таяние снега на поверхности земли (рис. 4). В этом районе находится локальный геотемпературный максимум $2,1 \times 10^{-6}$ кал/(см²·с). Снежный покров на севере территории образовался 23 февраля и поддерживался низкими отрицательными температурами (до -20°). Северная периферия кольцевой структуры Букантау выделяется на снежном поле. Склоны же Букантау бесснежны (точка А). Совершенно очевидно, что снег выпал и на северном склоне Букантау, но причина того, что он растаял здесь раньше, чем на примыкающей к нему с востока и запада на той же широте территории, вероятнее всего, во влиянии повышенных геотермических потоков. Гидрометеорологический фактор способствует протаиванию небольших поднятий за счет влияния солнечной радиации, но только их южных склонов. М. С. Делеур [1980] на основании анализа КС европейской территории Союза ССР показала, что снег дольше всего сохраняется на возвышенностях. По-видимому, таяние

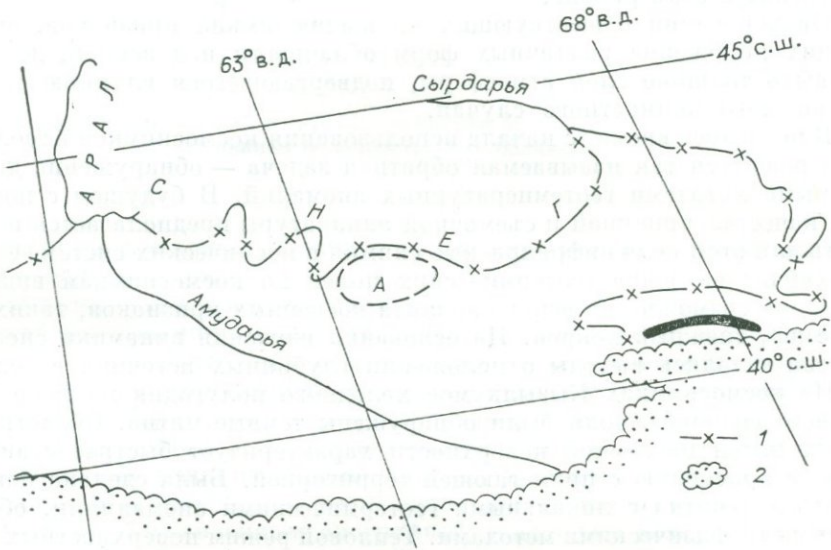
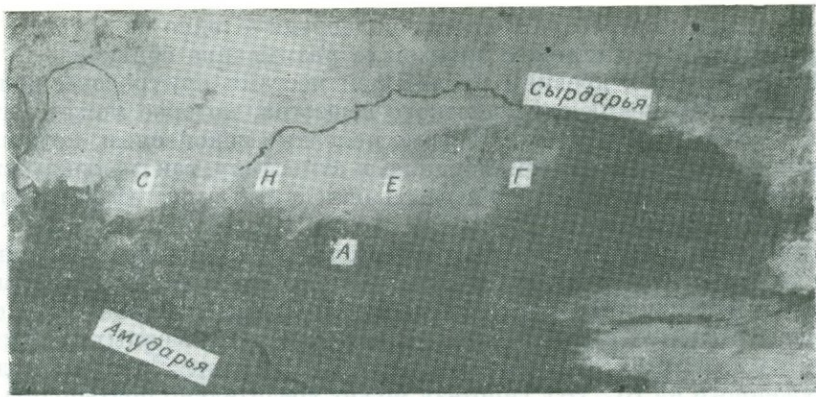


Рис. 4. Таяние снега на Букантауском поднятии (А — кольцевая структура Букантау; 1 — граница снеготаяния; 2 — облачные поля).

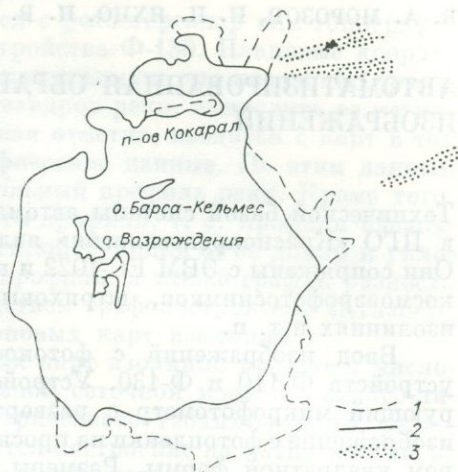
все же было обусловлено геотемпературным фактором, а не влиянием солнечной радиации и положительных температур воздуха.

Третий тип взаимодействия атмосферы с литосферой обусловлен деятельностью человека. Последняя, связанная с инженерными изысканиями, горными, строительными, мелиоративными и другими работами, приводит к уничтожению почвенно-растительного покрова, перемещению значительных объемов горных пород, водных масс и веществ, нарушая тем самым равновесие природных сил и, как следствие, вызывая развитие особых геодинамических процессов. Последнее прямо или косвенно приводит к изменению природных геологических условий, имеющих региональный и даже глобальный характер. Одним из следствий «техногенеза» является загрязнение атмосферы продуктами сжигания всех видов топлива, а также пылью и песком новообразованных пустынных участков и отвалов шлаков горных выработок. Инструментальными и визуальными наблюдениями из космоса можно контролировать антропогенное воздействие на природу, а по космоснимкам составлять карты охраны и использования окружающей среды.

На рис. 5 показано уменьшение площади зеркала Аральского моря. Сухой ил с обнаженного дна поднимается ветром в воздух, образуя пыльные бури. На рисунок нанесены три очага пыльной бури, зафиксированные 4.XII.81 г. спутником «Метеор-30».

Рис. 5. Изменение береговой линии Аральского моря.

1, 2 — береговые линии 1965 (1) и 1981 гг. (2);
3 — очаги пыльных бурь.



Рассмотренные примеры применения материалов дешифрирования космических снимков в проблеме исследования лито-атмосферных связей показали их высокую информативность. Сложность же обнаружения на космоснимках этих связей обусловлена: 1) недостаточным знанием причинно-следственных связей, их определяющих; 2) недостатком опыта дешифрирования подобных явлений; 3) редко возникающим сочетанием атмосферных факторов, при которых возможно проявление подобного взаимодействия.

Для выявления лито-атмосферных взаимодействий необходимо анализировать космические снимки видимого и инфракрасного диапазонов, карты геофизических и геохимических полей (значения электрического потенциала, радиоактивных эманаций, химического состава воздуха), территорий с разрывными нарушениями и другими геологическими объектами, каким-либо образом влияющими на атмосферу, карты погоды от земли до тропопаузы, ландшафтные.

Исходным материалом для обнаружения фактов взаимодействия твердой и воздушной оболочек Земли должны быть прежде всего космоснимки с облачными аномалиями, обусловленными непогодообразующими факторами.

ЛИТЕРАТУРА

- Делеур М. С. Космические методы изучения снежного покрова Земли.— Л.: Гидрометеиздат, 1980.— 77 с.
- Иванов В. В., Карус Е. В., Кузнецов О. Л. и др. О возможной роли динамики напряженного состояния земной коры в формировании и размещении залежей нефти и газа.— Докл. АН СССР, 1978, т. 239, № 4, с. 930—933.
- Кравцова В. И., Низкая И. С. Изучение по космическим снимкам антропогенного воздействия на природу на примере Мургабского и Тедженского оазисов в юго-восточных Каракумах.— Исследование Земли из космоса, 1983, № 3, с. 34—39.
- Личков Б. Л. Взаимодействие оболочек Земли и условия ее вращения как причина всех геологических явлений на планете.— В кн.: Тезисы докладов IV астрогеологического совещания. Л., 1962.
- Морозова Л. И. Проявление Главного Уральского разлома в поле облачности на космических снимках.— Исследование Земли из космоса, 1980, № 3, с. 101—103.
- Мушкетов И. В., Мушкетов Д. И. Физическая геология.— М.— Л.: ОНТИ, 1935.— 908 с.
- Назиров М. Синоптическая геология или спутники для планетарной геологии.— Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1975, № 5, с. 75—85.
- Розанов Л. Н. Особенности отображения тектонических разломов на снимках из космоса.— Исследование Земли из космоса, 1980, № 3, с. 98—100.
- Сидоренко А. В. Космическое землеведение.— В кн.: Научные чтения по авиации и космонавтике 1980 г. М.: Наука, 1981.
- Смирнов Я. Б. Тепловое поле территории СССР. Пояснительная записка к картам теплового потока и глубинных температур в масштабе 1 : 10 000 000.— М.: изд. ГИН, ГУГК, 1980.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Технической базой системы автоматизированной обработки изображений в ПГО «Красноярскгеология» являются внешние устройства «Формат». Они сопряжены с ЭВМ ЕС-1022 и предназначены для ввода информации с космоаэрофотоснимков, штриховых черно-белых изображений, карт в изолиниях и т. п.

Ввод изображений с фотоносителей осуществляется при помощи устройств Ф-110 и Ф-130. Устройство Ф-110 представляет собой сканирующий микрофотометр с разверткой барабанного типа, считывающий изображение с фотопленки на просвет или с фотобумаги на отражение растром квадратной формы. Размеры растр-элемента, осуществляющего дискретизацию изображения, можно изменять в пределах 25, 50, 100, 200 мкм. Устройство Ф-110 включает в себя блок воспроизведения изображений после обработки на ЭВМ.

Устройство Ф-130 представляет собой обеспеченный полуавтоматическим управлением серийный фотограмметрический прибор СПР-3М. Ф-130 позволяет вводить в ЭВМ координаты и высоты стереомодели местности, построенной на приборе по стереопаре аэрофотоснимков.

Специальное устройство Ф-140 предназначено для считывания кодированных цветом карт в изолиниях и графиков. В качестве носителя информации используется карта изолиний или другой материал, вычерченные специальными люминесцирующими красителями на нелюминесцирующей основе, например лавсане.

В настоящее время реализованы следующие возможности.

1. Улучшение изображения (нормированное контрастирование, выделение заданных диапазонов яркости, подчеркивание контуров, дифференцирование, фильтрация на основе алгоритма быстрого преобразования Фурье, увеличение фрагмента изображения и др.).

2. Пространственно-статистический анализ схем линеаментов.

Программно решается задача по количественной интерпретации схем дешифрирования линеаментов. Схема фотографируется и при помощи устройства Ф-110 вводится в ЭВМ. Программа преобразует полученное изображение в бинарную форму по заданному порогу и затем производит сканирование прямоугольным окном заданного размера с определенным шагом. В каждой позиции для окна вычисляются параметры линеаментной решетки: количество линеаментов, суммарная длина, распределение в заданном количестве азимутальных интервалов. Данные с помощью графопостроителя «Атлас-4» выводятся в виде карт изолиний или обрабатываются программой FW110 и с помощью устройства Ф-110 выводятся в виде полутонных карт в изолиниях на фотопленку. Программа позволяет получить распределение параметров линеаментной сети в 5- и 20-градусных интервалах.

3. Построение крупномасштабных топокарт по аэрофотоснимкам.

В практике геолого-разведочных работ обычны случаи, когда участки поисковых работ не обеспечены крупномасштабной топоосновой или топопланами. С помощью устройства Ф-130 крупномасштабная топооснова (топоплан) может быть построена по аэрофотоснимкам масштаба 1 : 25 000—1 : 50 000, каковыми обеспечиваются все геолого-разведочные организации. Для масштабирования и горизонтирования АФС используются условные координаты опорных точек, снятые с любой имеющейся топокарты. Топокарта вычерчивается на графопостроителе «Атлас-4». При необходимости карта рельефа пополняется контурами-элементами геологического дешифрирования. Вычерчивание контуров на графопостроителе обеспечивает программа AVKONT.

4. Анализ продольных профилей рек.

Ввод данных в ЭВМ осуществляется с фотостереопар или топографических карт с координатного стола устройства Ф-130. Плановые координаты X и Y вводятся с малым шагом дискретизации, что позволяет произвести распрямление всех извилин и меандров реки, вычислить ее истинную длину. Координата Z , т. е. высотная отметка, вводится с карт в тех случаях, где о ней имеются картографические данные. По этим данным строится реально существующий продольный профиль реки. Кроме того, производится вычисление теоретического профиля, т. е. профиля идеального равновесия данной реки, как степенной функции от ее длины и уклона. Топографический и теоретический профили, а также график разности уклонов между ними выводятся посредством графопостроителя «Атлас-4».

5. Вывод на фотоноситель полутоновых карт изолиний.

Исходными данными для построения карт изолиний являются числовые матрицы, являющиеся прямоугольной сеточной моделью какого-либо поля, например магнитного, гравиметрического, геохимического, рельефа и др. Программой FW110 производится построение на магнитном диске файла изображения такой карты, в которой значениям исходного поля соответствуют градации оптической плотности в узлах интерполяции, с последующим выводом ее при помощи устройства Ф-110 на фото пленку. Негатив карты дополняется шкалой присутствующих на ней градаций; при необходимости может быть произведено подчеркивание границ изообластей. Достоинство этого способа — достаточно быстрое построение карт по сравнению с графопостроением на устройстве «Атлас-4», их наглядность и возможность получать разномасштабные карты без повторного просчета [Гавриченко В. М., Морозов В. А., Яхно Н. Н. Числовые модели геологических и геофизических карт. — Разведка и охрана недр, 1983, № 10, с. 33—34].

Системные программы и программа просчета линеаментов были заимствованы в ЛАЭМ (г. Ленинград), причем нами были расширены возможности этих программ. Все перечисленные выше возможности АСО «Формат» практически используются в Геолого-съёмочной экспедиции и других подразделениях ПГО «Красноярскгеология». В ГСЭ, где находятся устройства «Формат», создана партия автоматизированной обработки геоинформации, которая работает в содружестве с Информационно-вычислительным центром ПГО.

Г. А. ЧЕРНОВ

К МЕТОДИКЕ АППРОКСИМАЦИИ ПРОДОЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ РЕК *

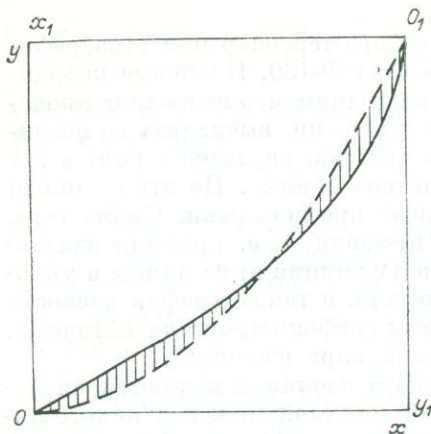
В статье П. В. Иванова [1951] «Метод количественной характеристики продольного профиля реки» содержится ошибка. Поскольку некоторые исследователи, не замечая погрешности метода, используют его для реконструкции новейших движений, считаю необходимым пересмотреть основы этого метода и указать на невозможность его применения в том виде, в каком он был предложен более 30 лет тому назад.

Продольный профиль реки П. В. Иванов предлагает сравнивать с математической кривой, построенной по уравнению

$$h = H \left(\frac{l}{L} \right)^n, \quad (1)$$

где h — высота данной точки профиля реки над устьем, м; H — высота истока реки, м; L — длина горизонтальной проекции реки, км; l — длина отрезка горизонтальной проекции реки от данной точки до устья, км;

* Печатается в порядке дискуссии. (Прим. отв. ред.)



Сопоставление двух парабол (объяснения см. в тексте).

n — «показатель формы профиля», определяемый отношением площади, лежащей выше линии профиля, к площади, лежащей ниже этой линии.

Приведенная формула, как указывает П. В. Иванов, отвечает параболу n -й степени. При замене h на x и l на y она действительно легко преобразуется в привычную степенную функцию вида

$$y = ax^n. \quad (2)$$

Нужно заметить, что вопрос об аппроксимации профилей рек математическими кривыми имеет длинную историю [Московкин, Куценко, 1983], и значительная часть авторов, например Н. И. Маккавеев, Л. Брут, Дж. Хак, использовали в этих целях степенную функцию. Между тем использование ими этой функции отличалось от способа, предложенного П. В. Ивановым. За начало координат они принимали истоки реки (точку O_1 на нашем рисунке) и получали кривую, изображенную сплошной линией, тогда как П. В. Иванов за начало координат принял устье реки (точку O) и получил кривую, изображенную на этом же рисунке штриховой линией. Эти кривые отличаются тем, что сплошная линия имеет наибольшую кривизну в верхней части профиля, а штриховая — в нижней. Обе кривые, естественно, являются параболой.

Какую интерпретацию профиля реки признать правильной — «сплошную» или «штриховую»? Для тех, кто не совершал маршрутов вверх по реке или не строил профили рек по топографическим картам и не помнит как медленно нарастает крутизна подъема в низовьях реки и как быстро — в верховьях, можно было бы порекомендовать специальную литературу, но обратимся лучше к работе самого П. В. Иванова и к статьям его последователей Л. Е. Сетунской [1959] и Э. Л. Якименко [1970]. Трудно понять позицию этих авторов, но на всех приведенных ими профилях (р. Мста и р. Волга у П. В. Иванова на рис. 4 и 6, р. Мертвовод у Л. Е. Сетунской на рис. 1, р. Сизая у Э. Л. Якименко на рис. 1) отчетливо виден «сплошной» вариант профилей, который в сочетании с теоретической кривой, построенной по методу П. В. Иванова, образует характерную петлю несогласия, аналогичную той, что заштрихована на нашем рисунке. Для устранения возникшего несоответствия П. В. Иванов прибегает к расчленению профиля на несколько участков, для каждого из которых им определяется свой «показатель формы». Л. Е. Сетунская и Э. Л. Якименко, увлеченные идеей отражения тектоники в профилях рек, петлю несогласия принимают за результат тектонической деформации профиля. Не останавливаясь перед тем, что «все без исключения верховья имеют отрицательную величину относительной деформации, а низовья — положительные» [Якименко, 1970, с. 114], они строят так называемые «карты деформации поверхности», которые, исходя из вышесказанного, следовало бы назвать «картами величин систематических ошибок, возникающих при применении метода П. В. Иванова».

Таким образом, для того, чтобы предложенная П. В. Ивановым формула стала приемлемой для аппроксимации профилей рек, нужно либо указать в пояснениях к формуле, что величины h и l являются координатами данной точки, определяемыми от центра координат, расположенного в истоке (а не в устье) реки и измеряемыми l — влево, а h — вниз, как поступал Н. И. Маккавеев, либо, считая началом координат точку, лежащую в устье реки, заменить в формуле (1) h на $(H-h)$, а l на $(L-l)$. По-

следнюю интерпретацию, правда для логарифмического уравнения кривой, еще в начале века использовал Грин [Green J. F. N.]:

$$y = a - k \log (p - x), \quad (3)$$

где a и p — координаты нового центра в вершине реки, а $(p-x)$ и $(a-y)$ — координаты точки относительно устья реки [Wooldridge, Morgan, 1937]. Оба варианта равнозначны.

Стоит обратить внимание и на способ определения П. В. Ивановым «показателя формы профиля» n , заимствованный им у С. В. Григорьева. Нужно признать, что математически этот прием, заключающийся в измерении площадей над и под профилем реки и вычислении их отношения, безупречен, ибо, обозначив эти площади через Q и P , а их сумму через HL , получим равенство

$$\frac{Q}{P} = \frac{HL - \int_0^l a l dl}{\int_0^l a l dl} = \frac{HL - \frac{HL}{n+1}}{\frac{HL}{n+1}} = \frac{[HL(n+1) - HL](n+1)}{(n+1)HL} = n.$$

Этот внешне красивый способ, однако, достаточно сложен (он включает измерение кривых площадей) и неточен (измеряемые площади очерчиваются не математической кривой, которая еще не построена, а фактическим профилем реки). На случай приближенного определения показателя степени n простой выход подсказывает сама формула П. В. Иванова (1), в которой он исключил неизвестный член a из формулы (2), заменив его известными координатами L и H :

$$a = \frac{H}{L^n}.$$

Выбрав точку на профиле с координатами h и l , лежащую, по возможности, на параболической части профиля, можно определить величину n непосредственно из формулы (1):

$$n = \frac{\lg \frac{h}{H}}{\lg \frac{l}{L}}. \quad (4)$$

Для наиболее точного определения границ параболической части профиля и параметров параболы можно предложить какую-нибудь из операций с множеством точек: либо решение системы уравнений

$$a = \frac{h_1}{l_1^n} = \frac{h_2}{l_2^n} = \frac{h_3}{l_3^n} = \dots, \quad (5)$$

либо построение профиля реки на двойном логарифмическом графике, где параболическая часть профиля изобразится прямой линией.

В настоящее время методы математической формализации широко применяются для описания и изучения естественных процессов, например, при расчете морских берегоукрепительных сооружений, при подсчете запасов полезных ископаемых, при анализе гранулометрического спектра осадков и во многих других случаях. Поэтому многочисленные попытки количественной характеристики продольных профилей рек оправданы и необходимы.

С учетом предлагаемых рекомендаций метод может быть использован при анализе топоосновы, стереофотограмметрической обработке аэроснимков, для изучения деформаций продольных профилей рек.

ЛИТЕРАТУРА

- Иванов П. В. Метод количественной характеристики формы продольного профиля реки.— Изв. Всесоюз. геогр. о-ва, 1951, т. 83, вып. 6, с. 585—594.
- Московкин В. М., Куденко Н. В. Моделирование выработанного профиля речной долины с помощью уравнения баланса наносов.— Геоморфология, 1983, № 3, с. 48—60.
- Сетунская Л. Е. Опыт анализа продольных профилей рек в целях изучения тектонических движений.— Изв. АН СССР. Сер. географическая, 1959, № 3, с. 110—115.
- Якименко Э. Л. Карта относительной деформации продольных профилей рек.— В кн.: Структурно-геоморфологические исследования в Сибири. Новосибирск: Наука, 1970, с. 111—115.
- Wooldridge S. W., Morgan R. S. The physical basis of geography (an outline of geomorphology).— London, 1937.— 427 p.

Н. К. МОЛОТКОВ

МОНТАЖНО-АПЛИКАЦИОННЫЙ СПОСОБ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

При решении многих геологических задач широко применяются космические снимки. Опыт дешифрирования показывает, что с их помощью можно не только изучать внешний структурный рисунок, но и получать надежную информацию о структуре глубинных слоев Земли и определять геодинамические характеристики [Геологическое изучение..., 1978].

В данной статье предлагается один из вариантов структурного анализа космических снимков, который включает в себя монтажно-апликационные операции и создание фотомодели неотектонических движений. С помощью данного способа удается с определенной долей условности смоделировать процессы горизонтальных перемещений соседних участков земной поверхности, определить связанные с ними напряжения, типы сопряженных структур и перестройки рельефа.

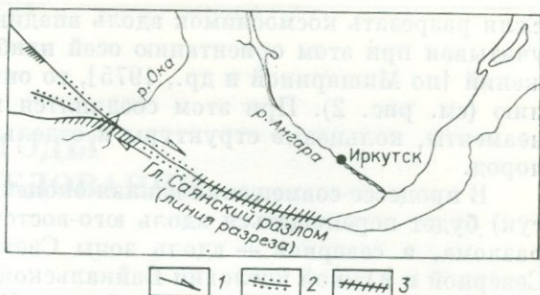
В связи с этим представляется вполне реальным и перспективным изучение неотектонических процессов с помощью космофотомоделирования. Известно, что новейшие движения оставили наиболее выразительный след на поверхности Земли, созданные ими структурные формы хорошо отражаются на космоснимках, и это дает основание использовать их для создания фотодинамических моделей. Предлагаемый монтажно-апликационный способ структурного изучения космоснимков способствует реализации такой возможности.

Содержание его заключается в следующем. Вначале выбираются геологические объекты, включающие известные типы разрывных нарушений: зоны сдвигов, раздвигов, надвигов и другие, формирование которых связано с горизонтальными перемещениями земной коры в кайнозой. Подбираются соответствующего качества и масштаба космические снимки, где данные структуры отражены наиболее выразительно. На них вдоль выбранных зон смещений дешифрируются все структурные образования: линейные и кольцевые разрывы, мелкие блоки, спрямленные участки долин и др. Затем вдоль разрывов-сместителей космоснимки разрезаются, вырезанные фрагменты (блоки) помещаются на исходные позиции и с помощью двух (или более) фотографий производится имитация горизонтальных перемещений, которые произошли в период неотектонического этапа. Таким способом можно воспроизводить процесс полностью или восстанавливать его по частям, фиксируя отдельные стадии.

При движении участков вдоль зон смещений определяется характер тангенциальных напряжений (условия сжатия или растяжения) и прогнозируются возможные типы сопряженных структур. Это делается на основании изучения геометрии сместителя, его ориентировки относительно

Рис. 1. Характер распределения напряжений вдоль Главного Саянского разлома при фотомоделировании правостороннего смещения.

1 — направления сдвигов; 2 — условия растяжения; 3 — условия сжатия.



направления движения, а также учета особенностей строения рельефа и изменений структуры фототона. На космических снимках различные геодинамические нагрузки отражаются определенными сочетаниями дешифровочных признаков. В условиях растяжения рисунок объектов на них часто расплывчатый, имеет овальные очертания, решетчатое или пятнистое строение, рельеф преимущественно холмисто-увалистый. В районах сжатия наблюдается другая картина, здесь преобладает линейный рисунок, мелкие линеаменты обычно узкие и часто сближены между собой. Они ориентированы вдоль фронта сжатия или расположены к нему под углом 30—40°. Эти особенности хорошо проявляются при фотомоделировании правостороннего смещения вдоль Главного Саянского разлома (рис. 1).

Возможности описываемого способа можно продемонстрировать и на примере изучения динамики Байкальского раздвига (рис. 2). На космических снимках хорошо видно, что западные и восточные борты Байкальской впадины очень сходны по своим очертаниям (фото 1, 2, см. Приложение).

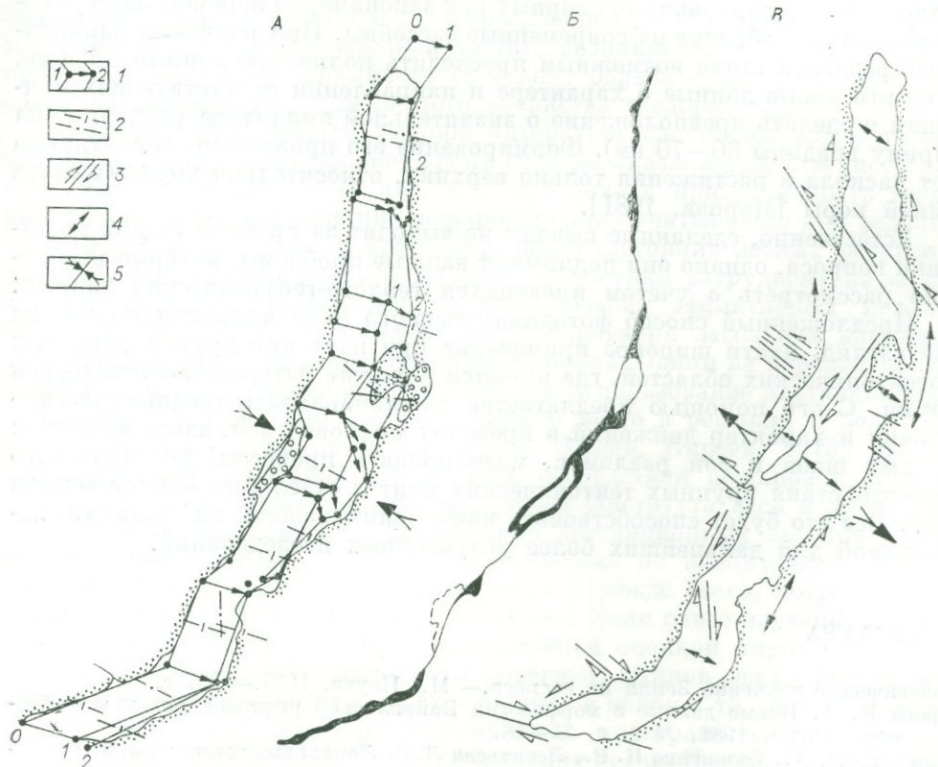


Рис. 2. Последовательность изучения Байкальского раздвига с помощью монтажно-аппликационного способа.

1 — этапы и направления совмещений бортов впадины; 2 — ориентации осей растягивающих напряжений в очагах землетрясений (по Мишариной и др.); 3 — предполагаемые направления сдвигов; 4 — районы растяжений; 5 — направления перемещений отдельных фрагментов снимка.

Если разрезать космоснимок вдоль впадины и сдвигать указанные борты, учитывая при этом ориентацию осей наибольших растягивающих напряжений [по Мишариной и др., 1975], то они почти сомкнутся в единую линию (см. рис. 2). При этом соединятся многие космотектонические линейaments, кольцевые структуры и отдельные комплексы разновозрастных пород.

В процессе совмещения южная оконечность Байкала (район пос. Култук) будет перемещаться вдоль юго-восточной части Главного Саянского разлома, а северная — вдоль зоны Светлинского разлома. В пределах Северной и Южной котловин Байкальской впадины произойдет почти идеальное совпадение совмещаемых бортов. В Центральной котловине, прежде чем получить хорошее их совпадение, необходимо сдвинуть (сжать) восточные берега на 20—25 км (примерно на ширину Баргузинской впадины) и тогда о. Ольхон займет свободное пространство в районе Туркинского залива, а п-ов Святой Нос — северную часть Баргузинского залива и акваторию Арангатуйского озера.

Соединив таким способом борты впадины, мы получим исходную структуру, на базе которой произошло образование Байкальской котловины. Теперь, с помощью обратных фотомонтажных операций восстанавливается весь процесс формирования Байкальского раздвига. При фотоимитации данного процесса фиксируются локальные направления смещений отдельных частей впадины, в результате чего по отдельным деталям создается общая картина горизонтальных движений, происходивших в момент образования котловины (см. рис. 2).

Применение монтажно-апликационного анализа космоснимков позволяет выявлять такую информацию, которую трудно получить с помощью других методов. Например, при фотомоделировании движений вдоль Главного Саянского разлома установлены сложные перестройки гидросети, где верховья всех горных рек закономерно перемещаются в соседние долины, образуя их современные бассейны. При изучении Байкальского раздвига стало возможным проследить полностью данный процесс, получить новые данные о характере и направлении сопутствующих движений и сделать предположение о значительной амплитуде раздвига (на ширину впадины 60—70 км). Формирование его произошло, вероятно, за счет раскола и растяжения только верхних, относительно хрупких слоев земной коры [Марова, 1981].

Естественно, сделанные выводы не выходят за пределы стадии постановки вопроса, однако они поднимают важные проблемы, которые необходимо рассмотреть с учетом имеющихся геолого-геофизических данных.

Предложенный способ фотодинамического моделирования может, на наш взгляд, найти широкое применение при изучении других активных неотектонических областей, где имеются хорошие материалы космической съемки. С его помощью предлагается восстанавливать геодинамические условия и характер движений в пределах рифтовых зон, вдоль активных краевых швов и зон разломов, моделировать процессы динамического взаимодействия крупных тектонических плит и отдельных блоков земной коры. Все это будет способствовать накоплению важной информации, необходимой для дальнейших более углубленных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- Геологическое изучение Земли из космоса.— М.: Наука, 1978.— 227 с.
Марова Н. А. Новые данные о морфологии Байкальской рифтовой впадины.— Геоморфология, 1981, № 2, с. 75—88.
Мишарина Л. А., Солоненко Н. В., Леонтьева Л. Р. Локальные тектонические напряжения в Байкальской рифтовой зоне по наблюдениям группы слабых землетрясений.— В кн.: Байкальский рифт. Новосибирск: Наука, 1975, с. 9—21.

IV раздел

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЛАНДШАФТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В. В. ФУРЯЕВ

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ ПОСЛЕ ПОЖАРОВ

Лесные пожары были и остаются одним из самых распространенных факторов, оказывающих глубокое влияние на таежные экосистемы и биосферу в целом [Мелехов, 1948, 1980; Корчагин, 1954; Курбатский, 1964; Санников, 1973; Фуряев, 1978]. На малонаселенных и слабоосвоенных таежных территориях относительно большое число пожаров возникало и возникает от молний, поэтому в указанных условиях их можно рассматривать в качестве природного экологического фактора. Проявление его обусловлено взаимодействием электрического поля Земли и органической оболочкой ее поверхности [Курбатский, 1964]. По мере хозяйственного освоения тайги пожары, количество которых по данным лесопожарной статистики в 80-е годы текущего столетия на Земле составляет около 800 тыс. в год, в большинстве случаев приобретают антропогенный характер [Липин, 1983]. При высокой частоте возникновения пожары в лесу принимают характер стихийного бедствия, борьба с которым является одной из важнейших задач лесного хозяйства таежной зоны.

В современной лесоводственной литературе сложилось единодушное мнение о том, что за длительное время пожары оказали существенное влияние на размещение, состояние, формирование и продуктивность таежных лесов. Указанное влияние пожаров должно учитываться при ведении лесного хозяйства, учете и прогнозировании состояния лесных ресурсов. Однако практическая реализация этих положений затруднена из-за отсутствия доступных, надежных и экономически эффективных методов единовременной оценки состояния и формирования лесов под влиянием пожаров в пределах крупных таежных регионов. Одним из перспективных путей решения указанной задачи считается использование дистанционных методов, которое должно занимать важное место в решении и более общей проблемы оценки лесных ресурсов [Исаев, Киреев, 1975; Исаев, 1979]. На этом основании мы изучали последствия пожаров в течение 10 лет в рамках нового направления работ Института леса и древесины СО АН СССР, связанного с разработкой дистанционных методов изучения и оценки лесных ресурсов. Исследования по новому направлению поставили перед нами ряд сложных задач. Прежде всего, потребовалась значительная методологическая перестройка. Если ранее изучение последствий пожаров ограничивалось традиционной оценкой пирогенного воздействия на отдельные компоненты сообществ (типов леса, биогеоценозов) и, в лучшем случае, на их состояние в целом, то дистанционный подход потребовал перехода к выявлению пространственно-временных закономерностей состояния и формирования лесов. Появилась, в частности, возможность одновременного анализа и обобщения послепожарных изменений в границах крупных природных комплексов и их разномасштабного картирования. Безусловно, дистанционный подход к изучению последствий пожаров и их роли в формировании лесов сопряжен с опре-

деленной потерей информации относительно частных деталей, но вместе с тем он имеет ряд немаловажных преимуществ, которые следует рассматривать более подробно.

Основными задачами наших исследований были:

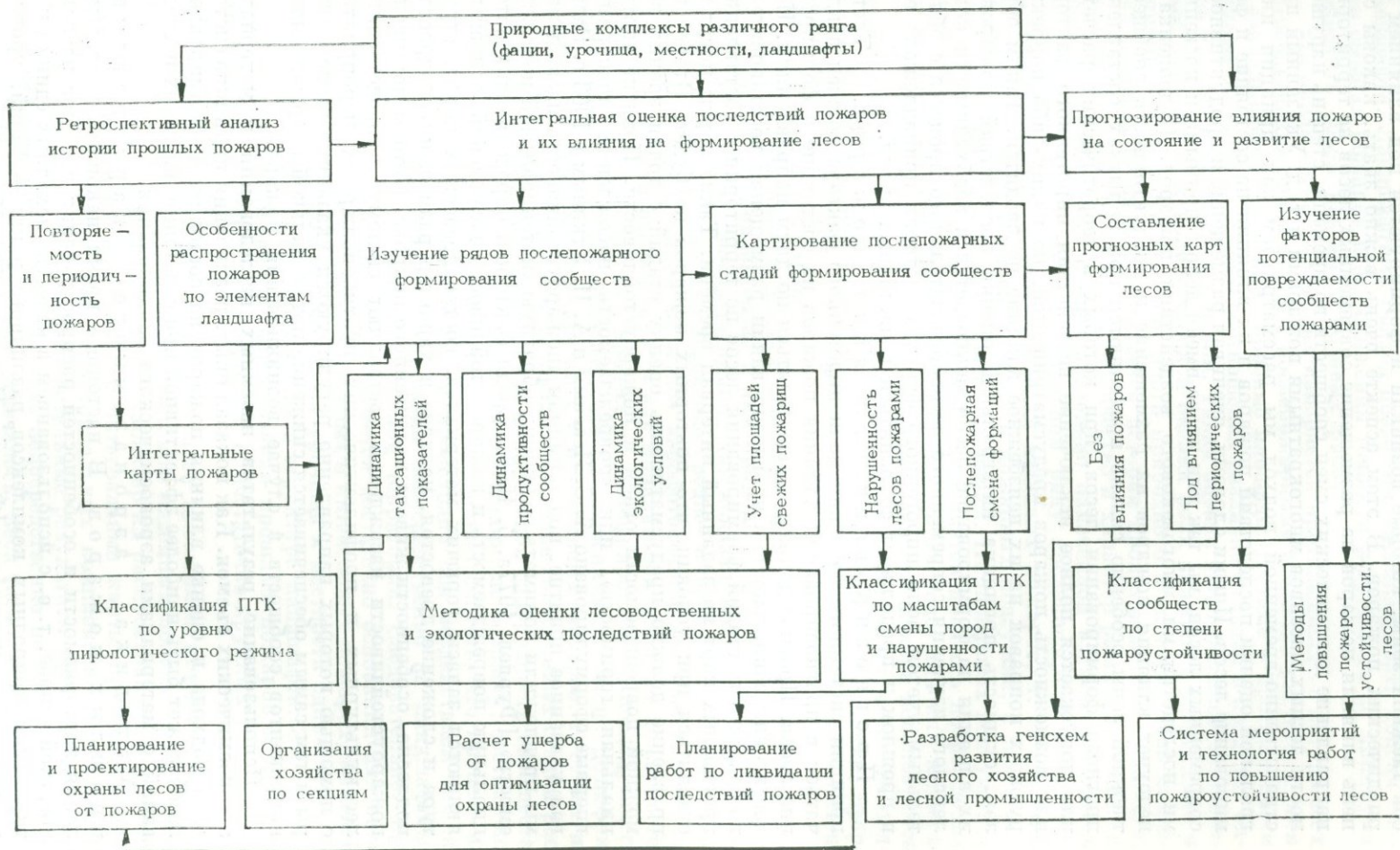
- 1) разработка принципов изучения последствий пожаров в лесу с использованием дистанционных методов;
- 2) разработка методов ретроспективного анализа истории прошлых пожаров и горимости лесов;
- 3) разработка принципов и методов интегральной оценки кратковременных и длительновременных последствий пожаров;
- 4) разработка методов прогнозирования послепожарного состояния и формирования лесов.

Принципы изучения и оценки последствий пожаров с использованием дистанционных методов. Разработка принципов изучения последствий пожаров. Изучение статистики и последствий пожаров позволяет сделать методически важный вывод о том, что всю таежную зону можно рассматривать как пространство, в различных участках которого на протяжении многих сотен лет периодически действовали пожары. Поэтому если в поле зрения взять достаточно крупный природный территориальный комплекс (урочище, местность, ландшафт), то он будет представлен сообществами, возникшими и сформировавшимися под влиянием пожаров различной давности. За длительное время практически вся территория таежной зоны оказалась пройденной пожарами, и современные насаждения являются, по существу, восстановительно-возрастными, дигрессивными и демулационными стадиями их формирования. Таежные леса достаточно крупных природных комплексов обычно представлены полным набором стадий — от свежих пожарищ до сообществ, в которых достаточно интенсивных пожаров не было 200 и более лет, т. е. близких по характеру к коренным.

При оценке послепожарного состояния и формирования лесов природных комплексов важно использовать принцип системного анализа взаимосвязанных и взаимообусловленных явлений. Применительно к рассматриваемой задаче принцип системного подхода должен включать как минимум три пространственно-временных уровня оценки влияния пирогенного фактора на состояние природных комплексов: какова была степень распространения и периодичность пожаров в прошлом; каков результат воздействия пожаров на современное состояние сообществ; какова будет послепожарная динамика лесов при исключении воздействия пирогенного фактора или в случае сохранения его нагрузки. Принципиальная схема изучения и оценки последствий пожаров приведена ниже.

Ретроспективный анализ истории прошлых пожаров и горимости лесов. Первый пространственно-временной уровень можно рассматривать как принцип ретроспективного выявления и анализа истории прошлых пожаров и обусловленного ими характера лесопирологического режима в границах природных комплексов. В указанном аспекте картирование пожаров и расчет их повторяемости является объективной научной основой для решения многих задач теоретического и прикладного значения. Прежде всего, указанные сведения необходимы для оценки лесопирологического режима природных комплексов, а также роли пожаров в формировании лесов и их многовековой динамике. В более широком аспекте выявление истории прошлых пожаров чрезвычайно полезно для оценки с эволюционно-экологических позиций биологической роли горения в лесу, направления смен сообществ, адаптации фитоценозов, отдельных видов растений к периодическому воздействию пирогенного фактора. Многие другие вопросы «послепожарной экологии» древесных пород и растительности нижних ярусов могут быть удовлетворительно решены лишь при условии углубленного изучения периодичности пожаров.

Принципиальная схема изучения и оценки роли пожаров в состоянии и формировании лесов



Интегральная оценка последствий пожаров. С лесоведческих позиций и для практики лесного хозяйства наиболее важной является оценка современного состояния и продуктивности лесов таежной зоны, которые возникли и формируются под влиянием периодических пожаров. В этом аспекте очень важно знать, каковы степень влияния пожаров на размещение современных лесов по территории, направление динамических смен сообществ во времени, степень нарушенности лесных массивов многократными пожарами и т. д. Указанный пространственно-временной подход мы рассматриваем как принцип интегральной оценки последствий пожаров и их влияния на состояние и формирование лесов. Иными словами, оценивая размещение и продуктивность современных лесов, мы так или иначе имеем дело с прямыми и косвенными последствиями многовекового воздействия пожаров. Недооценка и недоучет влияния пожаров на размещение и продуктивность сообществ таежной зоны особенно сильно проявляются при попытках составления прогноза формирования лесов, при которых в теоретических расчетах или допускается полное исключение воздействия пирогенного фактора, или возможность пожаров предусматривается, но каких-либо корректирующих поправок на их неизбежное влияние не вводится. Таким образом, сущность принципа интегральной оценки последствий пожаров и их влияния на формирование лесов заключается в необходимости комплексного изучения современного лесообразовательного процесса с обязательным учетом роли пирогенного фактора, которая принадлежала ему в прошлом и продолжает сохраняться в настоящее время.

Прогнозирование влияния пожаров. Третий принцип системного изучения роли пирогенного фактора должен заключаться в прогнозировании влияния пожаров на состояние и формирование лесов. Прогноз должен осуществляться по двум направлениям. Первое из них заключается в прогнозировании размещения восстановительно-возрастных стадий формирования лесов по территории с составлением прогнозных карт на заданный интервал времени. Такие карты могут составляться при условии, что повторных пожаров не будет. Второе направление должно предусматривать оценку стадий с точки зрения возможной повреждаемости огнем и пожароустойчивости. Понятие «потенциальная горимость», или «повреждаемость насаждений пожарами», впервые сформулировано А. С. Исаевым и А. И. Уткиным в 1963 г. Развивая указанное понятие, под термином «пожароустойчивость насаждений» мы предложили понимать величину, обратную «потенциальной повреждаемости» [Фурьев, 1977а, б, 1978]. Среди факторов, определяющих потенциальную повреждаемость и пожароустойчивость насаждений, основными являются запасы горючих материалов, состав древесных пород, структура и сложение древостоя, наличие и характер размещения подроста и подлеска, особенности живого напочвенного покрова. Методы повышения пожароустойчивости насаждений составляют систему лесоводственных, лесокультурных и профилактических противопожарных мероприятий, с помощью которых направленно регулируются указанные выше факторы и тем самым обеспечивается снижение потенциальной повреждаемости компонентов сообществ в случае возникновения пожара.

Использование результатов наземных исследований и материалов аэрокосмических съемок. Как показал опыт, реализация принципа системного подхода к оценке влияния пожаров на состояние и формирование лесов может быть наиболее эффективной при сочетании наземных исследований с материалами аэрокосмического зондирования.

Методика аэроаэрозольного картирования прошлых пожаров. В настоящее время накоплен опыт выявления повторяемости и особенностей распространения пожаров на ландшафтной основе, т. е. с использованием в качестве исходных единиц картирования природных комплексов различного ранга — фаций, урочищ, местностей и ландшафтов [Фурьев, Киреев, 1979]. При этом в качестве основного приема нами, вслед за А. С. Карпенко и Ю. О. Медведевым

[1970], принимается метод составления карт пожаров. Однако в методику их картирования вносятся существенные дополнения. Прежде всего, наземные работы по выявлению пожаров проводятся не произвольно, а на ландшафтных профилях, охватывающих все виды урочищ изучаемого ландшафта. Ландшафтный подход позволяет оптимизировать поиски следов бывших пожаров и без снижения точности результатов до минимума сократить объем наземных полевых работ.

На ландшафтных профилях измеряется протяженность в натуре всех встречающихся видов фаций с послепожарными стадиями растительности и закладываются временные пробные площади. Данные о протяженности служат оценкой линейного соотношения различных стадий в пределах видов урочищ и местностей в целом. Такая оценка имеет большое методическое значение для количественной оценки роли пожаров в размещении и формировании лесов того или иного природного комплекса. При описании пробных площадей выявляется история происхождения сообщества, устанавливается состав пород, количество и характер распределения подраста, в соответствии с предварительно намеченной схемой уточняется место сообщества в восстановительном ряду послепожарной динамики. Большое внимание уделяется следам прошлых пожаров, т. е. наличию на деревьях, пнях и валеже нагара и пожарных подсушин, а также углей в подстилке и верхних горизонтах почвы. На пожарных подсушинах по методике И. С. Мелехова [1948] определяется давность повреждения древостоя пожарами. При отсутствии пожарных подсушин или недостаточной выраженности их для определения давности пожара используются другие дополнительные признаки: максимальный возраст хвойного подраста, выросшего вблизи деревьев с нагаром, возраст насаждений, сформировавшихся на гари, и т. д. По высоте нагара устанавливается интенсивность бывших пожаров.

Для экстраполяции данных о пожаре, полученных непосредственно на профилях, на прилегающие к ним природные комплексы используются летние и осенние аэрофотоснимки. Как показал опыт, в данном случае наиболее перспективно использование средне- и мелкомасштабных аэроснимков. С уменьшением масштаба аэрофотосъемки изображение послепожарных стадий растительности как индикаторов прошлых пожаров генерализуется, что облегчает процесс их дешифрирования и последующего картирования. Следует отметить, что на аэроснимках обычно дешифрируются контуры наиболее крупных и интенсивных пожаров, т. е. тех из них, которые фактически обусловили появление современных стадий растительности. При дешифрировании аэроснимков однородность сообществ, расположенных на профилях и за их пределами, по возрасту, составу пород и другим признакам фитоценозов позволяет считать, что процесс их формирования был одинаковым и происходил под воздействием тех же пожаров, следы которых обнаружены непосредственно на ландшафтных профилях при наземном обследовании территории. Следовательно, при наличии разновозрастных стадий имеется достаточно оснований для экстраполяции данных о наиболее крупных и интенсивных пожарах, выявленных на ландшафтных профилях, на урочища и местности одних и тех же видов, закономерно повторяющихся в структуре ландшафта. Это обстоятельство дает возможность картирования прошлых пожаров в пределах урочищ, местностей и ландшафтов, т. е. достаточно крупных участков таежных территорий.

Перечисленные дополнения к ранее имевшимся методическим разработкам позволяют с меньшим объемом наземных полевых работ выявлять историю прошлых пожаров, характер их распространения, повторяемость во времени и составлять интегральные карты применительно к любому рангу природных территориальных комплексов. Для решения многих задач вполне удовлетворительные результаты при картировании прошлых пожаров можно получить непосредственно по материалам аэрокосмической съемки. Как уже отмечалось, леса таежной зоны сформировались под влиянием особо крупных, а в некоторых случаях и катастро-

фических пожаров, охватывающих большие площади. Именно крупные пожары обуславливают распределение по территории послепожарных стадий растительности, которые достаточно хорошо дешифрируются на мелкокомасштабных аэрокосмических снимках. При этом возраст стадий с определенной приближенностью позволяет судить о периодах действия крупных пожаров и картировать их в рамках природных комплексов. Особенно большие возможности открываются в связи с использованием космических снимков. В этом случае ареалы действия крупных пожаров могут быть одновременно выявлены и закартированы на неограниченной территории.

Исследования многолетней повторяемости пожаров, их интенсивности и особенностей распространения позволили сделать вывод относительно существования в границах природных комплексов особых условий, способствующих появлению определенной цикличности в возникновении пожаров. Эти условия было предложено выражать через понятие «пирологические режимы» природных комплексов, которое определяет сложный и длительный процесс взаимодействия и взаимообусловленного состояния экологических режимов природных комплексов с интенсивностью, повторяемостью и последствиями пожаров. Этот процесс взаимодействия и взаимообусловленности четко проявляется через направленность и особенности послепожарной динамики лесов. В данном случае пожары определяют не только размещение послепожарных стадий по территории в соответствии с размещением природных комплексов, но и во времени — в соответствии с повторяемостью пожаров в пределах природных комплексов. На основании изложенных представлений предложено составлять шкалы пирологических режимов природных комплексов различного ранга. При этом как основной показатель «пирорежимов» природных комплексов принимается многолетняя фактическая повторяемость пожаров, обусловленная их экологическими условиями и наличием источников загораний. Таким образом, выявление и картирование прошлых пожаров и классификация комплексов по уровню многолетней повторяемости их дают достаточно полную и объективную основу для оценки роли пожаров в формировании лесов различных ландшафтов.

К а р т и р о в а н и е п о с л е п о ж а р н о й д и н а м и к и л е с о в. Для реализации принципа интегральной оценки последствий пожаров разработаны пути и методы изучения и картирования послепожарной динамики лесов [Фуряев, Киреев, 1979; Фуряев, 1980; Фуряев, Злобина, 1981]. Опыт показал, что послепожарную динамику лесов целесообразно изучать на ландшафтной основе, поскольку она обеспечивает достаточно строгую пространственную привязку динамических рядов к природным комплексам, способствует научно обоснованному и наиболее достоверному дешифрированию стадий на аэрофотоснимках различного масштаба, позволяет картировать современные лесные сообщества с учетом их послепожарного восстановительного процесса. Так, обобщенные стадии послепожарной динамики темнохвойных лесов имеют четко выраженные физиономические различия. Это обстоятельство особенно важно в связи с картированием послепожарной динамики лесов по аэрокосмическим снимкам на основе ландшафтного метода их дешифрирования [Киреев, 1977]. Применение этого метода дает возможность картировать различные стадии не только по признакам изображения, но и по экологическим условиям их формирования. Опыт показал, что на спектрально-аэроснимках крупного и среднего масштаба выделение контуров послепожарных стадий обеспечивается различиями в их цветовом изображении. На панхроматических высотных снимках среднего, мелкого и сверхмелкого масштаба в качестве основного признака послепожарных стадий используются различия в тоне их изображения, который закономерно изменяется от светло-серого (вторая стадия) до темного (восьмая стадия). На зимних аэрокосмических снимках возможность оценки соотношения лиственных и хвойных пород в составе сообществ также позволяет отнести каждое из них к определенной стадии послепожарного лесообразова-

тельного процесса. При уменьшении масштаба как летней, так и зимней высотной съемки контуры стадий приобретают более четкий характер. Наличие ландшафтной карты значительно облегчает процесс опознавания стадий. Таким образом, совокупность ландшафтных и морфологических признаков создает объективную основу для дешифрирования экологических условий формирования сообществ, состава их пород, позволяет выявить принадлежность их к той или другой стадии послепожарной динамики и прогнозировать пути ее дальнейшего развития.

Методика картирования послепожарной динамики лесов составлена нами применительно к выявлению стадий и их сочетаний на аэрокосмическим крупного, среднего, мелкого и сверхмелкого масштаба. В соответствии с методикой картирование послепожарной динамики лесов осуществляется параллельно на ландшафтной и лесотипологической основе. В качестве ландшафтной основы используются природные территориальные комплексы различного ранга. В основу типизации растительности положены принципы географо-генетической классификации типов леса и положения о восстановительно-возрастной динамике насаждений, развиваемые Б. П. Колесниковым [1956; Колесников, Смолоногов, 1960] и другими исследователями [Попов, 1967, 1983; Седых, 1974]. Пространственное выявление и картирование послепожарных стадий производится путем анализа аэрокосмических снимков различных масштабов с использованием ландшафтного метода их дешифрирования. При этом на основе разномасштабной последовательной съемки территории разрабатывается ступенчатая система картирования послепожарных стадий формирования лесов. Методическим основанием для разработки ступенчатой системы является объективно существующая возможность генерализации природных комплексов от мелких и относительно простых до крупных и более сложных с соответствующим объединением послепожарных сообществ в относительно однородные совокупности.

Легенды карт разрабатываются с учетом подразделения картируемого ландшафта на природные комплексы различного ранга, выявления коренных типов леса и формирующихся на их месте послепожарных восстановительно-возрастных стадий. Природные комплексы и соответствующие типы леса в понимании Б. П. Колесникова [1956] составляют основные разделы легенды. Каждый из ее разделов начинается с указания природного комплекса определенного ранга, принятого в зависимости от масштаба картирования, далее помещаются слагающие его природные комплексы более мелкого ранга и соответствующие им коренные сообщества. Заканчивается каждый раздел указанием условного индекса послепожарной восстановительно-возрастной стадии или нескольких стадий, сформировавшихся в пределах природного комплекса. Последовательность расположения в легенде природных комплексов соответствует морфологической структуре ландшафта и отражает определенный экологический ряд — от пойм крупных рек к террасам, склонам террас и водоразделам.

В зависимости от принятого масштаба картирования динамика производных сообществ во времени представляется либо в виде дробных восстановительно-возрастных рядов, соответствующих каждой фации (крупномасштабное картографирование на уровне фаций), либо в виде обобщенных восстановительно-возрастных стадий, соответствующих преобладающим в урочище темнохвойным или светлохвойным лесам (среднемасштабное картографирование на уровне урочищ), либо путем еще большей генерализации стадий по доминирующим эдификаторам производных сообществ (мелкомасштабное картографирование на уровне местностей и сверхмелкомасштабное картографирование на уровне ландшафтов). С увеличением масштаба параллельно с различной степенью генерализации производных сообществ в рамках восстановительно-возрастных рядов (во времени) производится объединение на различных уровнях исходных природных территориальных комплексов, относительно близких в экологическом отношении (генерализация по территории). На крупно-

масштабных картах размещение послепожарных стадий может быть использовано при характеристике динамики сообществ в таксационном плане и организации хозяйства по секциям с учетом динамических процессов. По картам среднего масштаба оценивается размещение послепожарных сообществ и рассчитывается их соотношение в границах урочищ. На основании указанных карт возможна детальная ландшафтно-экологическая оценка роли пожаров в формировании лесов конкретных природных комплексов [Фурьев, 1983].

Оценка природных территориальных комплексов по степени нарушенности пожарами. Из многих аспектов пространственно-временной оценки послепожарного состояния лесов одной из актуальных задач является разработка методики оценки и районирования крупных таежных территорий по степени нарушенности лесов пожарами. Указанная методика разработана нами на основе широкого использования аэро- и космических снимков [Фурьев, Киреев и др., 1983]. В результате их дешифрирования выявляется система ландшафтных и лесопирологических признаков, на основании которых составляются оценочные карты нарушенности лесов пожарами. При этом в качестве ландшафтных признаков природных комплексов используются их естественные рубежи, морфологическая структура и экологические режимы. Лесопирологические признаки природных комплексов классифицируются по уровню пирологического режима, выявляется соотношение коренных и производных сообществ, определяются расчетные показатели горимости лесов и нарушенности их пожарами. Методика выявления и расчета ландшафтных и лесопирологических показателей апробирована на примере лесов Обь-Енисейского междуречья [Фурьев, Бахтинова, Зацепина, 1983]. Карта оценки лесов по степени нарушенности лесов пожарами составлена в масштабе 1 : 1 000 000 с использованием космических снимков, полученных с ИСЗ. Общая площадь картирования составила 12 млн. га, в ее пределах выделено 96 ландшафтных местностей, для которых определены классы пирологических режимов, соотношения коренных и производных сообществ, рассчитаны показатели горимости лесов и нарушенности их пожарами. Фрагмент карты, в качестве примера, приведен на рисунке. Опыт составления карты показал, что все три лесопирологических признака существенно изменяются по местностям и в среднем по различным ландшафтам.

Изучение послепожарного формирования лесов. Влияние пожаров на формирование таежных лесов несомненно. Однако проявление этого фактора в различных регионах может быть различным: случайным и систематически повторяющимся, кратковременным — незначительным и длительным, глубоко изменяющим облик лесов. Одним из важных направлений изучения последствий пожаров является оценка их роли, проявляющейся в качестве мощного экологического фактора, изменяющего в процессе многовекового воздействия формационную структуру лесов таежных ландшафтов. Для оценки масштабов распространения послепожарных мелколиственных и смешанных лесов в пределах различных ландшафтов нами использовался структурно-экологический метод дешифрирования и интерпретации аэрокосмических снимков, разработанный Д. М. Киреевым [1977]. В результате дешифрирования космоснимков в пределах каждого ландшафта выявляется соотношение лесных площадей, представленных различными стадиями формирования лесов или их сочетаниями. Эти материалы служат основой для классификации ландшафтов по степени воздействия пожаров на их леса. Для лесопожарного районирования территорий составляются обзорные сверхмелкомасштабные карты послепожарного формирования лесов. Внутри контуров ландшафтов условными знаками показывается соотношение коренной и производной растительности, а также принадлежность его к той или иной группе по степени нарушенности лесов пожарами.

На основании изложенной методики разработана карта распространности послепожарных производных мелколиственных лесов Обь-Ени-

комплексов, слагающих ландшафты. Эти особенности определяют пожарную опасность лесов и их пожароустойчивость, возможность реализации вспышек массовых размножений сибирского шелкопряда и характер послепожарной восстановительно-возрастной динамики лесов.

Первая группа — ландшафты, растительность которых относительно слабо затронута пожарами. Площадь производных мелколиственных и смешанных сообществ в них не превышает 30% общей лесопокрытой площади. На рассматриваемой территории междуречья эта группа представлена ландшафтом пойменной Чулым-Кеть-Обской равнины с относительной высотой поднятия блока менее 50 м и площадью болот более 60%.

Вторая группа — ландшафты, растительность которых в средней степени затронута пожарами и сибирским шелкопрядом. Площадь производных послепожарных сообществ составляет 31—60%. В данном случае это возвышенные озерно-аллювиальные и водно-ледниковые с южно-таежными ельниками, пихтачами и сосняками Кетская, Касская, Нижне-Чулымская равнины с высотой поднятия блоков 100—200 м и площадью болот 10—30%.

Третья группа — ландшафты, растительность которых в сильной степени затронута воздействием сибирского шелкопряда и пожарами. Площадь производных мелколиственных и смешанных послепожарных сообществ составляет 61—95%. На территории междуречья эта группа представлена высокими дренированными с южно-таежными ельниками, пихтачами и кедрачами Томь-Яйской, Улу-Юл-Чулымской и Туганской равнинами с поднятием блоков более 200 м и площадью болот менее 10%.

Выявление площадей и диагностика состояния насаждений на свежих пожарных участках. В рамках принципа интегральной оценки последствий пожаров особое место должен занимать оперативный учет послепожарных изменений в насаждениях на «свежих пожарных участках», которые мы рассматриваем как первую стадию восстановительной динамики лесов. При этом под свежими пожарными участками, по Н. П. Курбатскому [1972], понимаются все участки леса, пройденные пожарами в текущем году. Учет площадей и оценка состояния насаждений непосредственно после пожара необходимы органам лесного хозяйства для определения лесоводственного ущерба и планирования мероприятий по ликвидации последствий повреждения огнем. Для решения этой задачи разработаны методы выявления площадей свежих пожарных участков и выделения в их границах участков леса различной степени повреждения на основе использования материалов спектрально-аэрофотосъемки [Фуряев и др., 1980; Фуряев, Гирс, 1981]. Основное преимущество спектрально-аэрофотосъемки — оперативное получение контрастных изображений лесных массивов и отдельных насаждений, пройденных пожарами не более чем за три месяца до производства аэрофотосъемки. При этом цветное изображение пожарных участков обеспечивает их привязку на местности и к географическим координатам, что очень важно для картирования пройденных огнем насаждений на площади гослесфонда. По характеру участков при высокой разрешающей способности аэро-снимков можно с большой достоверностью судить о выгорании напочвенного покрова, повреждении огнем подроста и подлеска, опале крон деревьев и их отпаде, а в совокупности — о степени повреждения насаждения. Основанием для оценки послепожарного состояния насаждений служит тесная зависимость между интенсивностью пожара, тепловым воздействием на прикамбиальные ткани, размерами опала крон, активностью физиологических процессов [Гирс, 1982] и спецификой спектральной яркости пройденных пожарами насаждений [Прокудин, Фуряев, 1973]. По цветовому изображению на спектрально-аэрофотоснимках достаточно резко выделяются участки леса, пройденные пожарами разных видов, с различной степенью повреждения насаждений. Для оценки по спектрально-аэрофотоснимкам послепожарного состояния насаждений в зависимости от вида пожара и его интенсивности целесообразно исполь-

зовать пять степеней повреждения древостоев, выделяемых Г. С. Войновым и М. А. Софроновым [1976] на основе известной классификации И. С. Мелехова [1948].

Практическое использование методов и карт оценки послепожарного состояния лесов. Методы оценки послепожарного состояния и формирования лесов с использованием материалов аэрокосмической фотосъемки создают основу для решения целого ряда практически важных задач лесного хозяйства. Например, выявление многолетней повторяемости пожаров в границах природных комплексов разного ранга — урочищ, местностей и ландшафтов — позволяет ранжировать их по классам лесопирологического режима. Указанное ранжирование есть не что иное, как объективная оценка многолетней фактической горимости лесов различных природных комплексов, которая должна учитываться при планировании и проектировании различного уровня охраны лесов от пожаров. Большое практическое значение при этом могут иметь карты распространения и повторяемости прошлых пожаров, составленные на ландшафтной основе.

Крупномасштабные карты послепожарной динамики лесов, при составлении которых в качестве учетных лесохозяйственных единиц используются фации и классы фаций, представляют собой основу для организации и ведения лесного хозяйства по секциям с учетом пространственно-временных закономерностей формирования лесов. При этом эколого-динамические ряды формирования сообществ в рамках исходных фаций могут быть использованы для анализа хода роста насаждений в таксационном плане.

Методика районирования таежных территорий по последствиям пожаров, в основу которой положено использование ландшафтных карт и материалов аэрокосмической фотоинформации, позволяет получать систему пирологических показателей, в своей совокупности характеризующих горимость лесов и степень нарушенности их пожарами за длительный период времени. Получаемые на указанной основе материалы создают объективную характеристику послепожарного состояния таежных территорий и могут быть использованы при учете лесных ресурсов и планировании противопожарного устройства лесов. В отечественной практике аналогичных методик не существует. Преимущество предлагаемой методики перед известными методами оценки послепожарного состояния лесов заключается в объективности исходных данных, возможности оперативного их получения одновременно для больших территорий и снижении затрат труда и средств. Опыт показал возможность и целесообразность составления на основе указанной методики «Карт ландшафтного районирования лесов по степени нарушенности пожарами». Использование содержащихся в них сведений в проектных разработках повышает обоснованность рекомендаций по уровню затрат на охрану различных территорий, размещению противопожарных и лесовосстановительных мероприятий. Практическая реализация лесохозяйственных мероприятий в соответствии с картами увеличивает их лесоводственную и экономическую эффективность.

На основании метода выявления и диагностики послепожарного состояния насаждений на свежих пожарных участках совместно с Всесоюзным объединением «Леспроект» разработаны «Технические указания по оценке послепожарного состояния насаждений на свежих пожарных участках методом камерального аналитико-измерительного дешифрирования цветных спектрально-аэрофотоснимков в сочетании с натурными работами». Номинальная рекомендация состоит в том, что положенные в основу метода признаки дешифрирования по цветовому изображению свежих пожарных участков, вида пожара, категорий горельников и степени повреждения древостоев разработаны и систематизированы впервые. Перспективность внедрения метода обусловлена широким использованием в современной практике лесоинвентаризации цветных спектрально-аэрофотоснимков, что не вызывает дополнительных затрат на производство специальной аэрофо-

тосъемки свежих пожарищ. По сравнению с наземными и аэровизуальными методами, а также с использованием черно-белых аэрофотоснимков предлагаемый метод обеспечивает более точное определение площадей пожарищ и степени повреждения древостоев огнем. Это создает объективную основу для рационального планирования мероприятий по ликвидации последствий пожаров и хозяйственного использования пройденных огнем площадей лесного фонда. Ожидаемый экономический эффект от внедрения метода в практику лесоустройства и лесоинвентаризации заключается в сокращении затрат труда и средств при обследовании гарей в 2—4 раза.

Выводы. Опыт показал, что на ландшафтной основе с использованием аэрокосмоснимков можно разрабатывать лесопирологические карты различных типов. При этом каждый тип карты определяется кругом решаемых задач и информацией, которую можно получить с высотных снимков различных масштабов. Разномасштабное картографирование прошлых пожаров, стадий восстановления лесов, расчеты соотношения коренных и производных сообществ позволяют решать важные лесоводственные задачи. К таким задачам относятся оценка экологической роли пожаров в формировании лесов таежной зоны и их влияния на режимы природных комплексов различных ландшафтов; классификация таежных лесов по степени их потенциальной повреждаемости и пожароустойчивости; необходимость планирования лесоводственных мероприятий с учетом пирогенного воздействия и направленности восстановительно-возрастных послепожарных смен растительности в связи с пирологическими режимами природных комплексов. В условиях интенсивного лесного хозяйства на основе карт прошлых пожаров и динамики лесов может более эффективно решаться комплекс лесохозяйственных мероприятий, направленных на регулирование процессов послепожарного формирования сообществ и повышение их пожароустойчивости.

Перспективным направлением дальнейшего развития исследований является разработка методов прогноза послепожарного состояния и формирования лесов различной долговременности. Они должны основываться на методах ретроспективного анализа истории прошлой горимости лесов и интегральной оценки последствий пожаров, реализующихся в направленности и специфике лесообразовательного процесса в различных географических районах. Особое место в решении указанных задач, как это следует из изложенного, должно принадлежать использованию дистанционных методов. В плане совершенствования их должны быть испытаны различные виды аэрокосмосъемок, включая тепловые, а также разработаны способы автоматизации процессов дешифрирования и обработки информации. Заключительным этапом разработки прогнозов является создание имитационных математических моделей послепожарного формирования лесов.

ЛИТЕРАТУРА

- Войнов Г. С., Софронов М. А. Прогнозирование отпада в древостое после низовых пожаров.— В кн.: Современные исследования типологии и пирологии леса. Архангельск, 1976, с. 115—121.
- Гирс Г. И. Эколого-физиологические основы устойчивости сосны обыкновенной и лиственницы сибирской к тепловым воздействиям и насекомым фитофагам. Автореф. докт. дис.— Красноярск, 1982.
- Исаев А. С. Задачи изучения лесов с использованием аэрокосмических средств.— В кн.: Исследование таежных ландшафтов дистанционными методами. Новосибирск: Наука, 1979, с. 3—6.
- Исаев А. С., Киреев Д. М. Принципы и методы изучения лесов из космоса.— В кн.: Исследование земных ресурсов космическими средствами. М.: Наука, 1975, с. 44—45.
- Карпенко А. С., Медведев Ю. О. Опыт крупномасштабного картирования таежной растительности.— В кн.: Геоботаническое картографирование. Л.: Наука, 1970, с. 7—16.

- Киреев Д. М. Методы изучения лесов по аэроснимкам.—Новосибирск: Наука, 1977.— 212 с.
- Колесников Б. П. Кедровые леса Дальнего Востока.— М.— Л.: Изд-во АН СССР, 1956.— 261 с.
- Колесников Б. П., Смолоногов Е. П. Некоторые закономерности восстановительно-возрастной динамики кедровников Зауральского Приобья.— В кн.: Проблемы кедра, Новосибирск: РИО СО АН СССР, 1960, с. 21—31.
- Корчагин А. А. Влияние пожаров на лесную растительность и восстановление ее после пожаров на Европейском Севере.— Тр. Бот. ин-та АН СССР. Сер. Геоботаника, 1954, вып. IX, с. 75—149.
- Курбатский Н. П. Проблема лесных пожаров.— В кн.: Возникновение лесных пожаров. М.: Наука, 1964, с. 5—60.
- Курбатский Н. П. Терминология лесной пирологии.— В кн.: Вопросы лесной пирологии. Красноярск, 1972, с. 171—231.
- Липин В. В. Значение леса в жизни общества.— В кн.: Примерные тексты бесед с населением о полезности лесов и вреде лесных пожаров. Красноярск, 1983, с. 5—9.
- Мелехов И. С. Влияние пожаров на лес.— М.— Л.: Изд-во АН СССР, 1948.— 126 с.
- Мелехов И. С. Лесоведение.— М.: Лесная промышленность, 1980.— 406 с.
- Попов Л. В. Динамика южнотаежных лесов Средней Сибири.— В кн.: Сибирский географический сборник. М.— Л.: Наука, 1967, с. 151—196.
- Попов Л. В. Южнотаежные леса Средней Сибири.— Иркутск, 1983.— 330 с.
- Прокудин Ю. А., Фуряев В. В. Использование спектрально-аэрофотосъемки для диагностики послепожарного состояния насаждений.— В кн.: Горение и пожары в лесу. Красноярск, 1973, с. 228—235.
- Санников С. Н. Лесные пожары как эволюционно-экологический фактор возобновления популяций сосны в Зауралье.— В кн.: Горение и пожары в лесу. Красноярск, 1973, с. 236—277.
- Седых В. Н. Динамика кедровых лесов среднетаежного Приобья. Автореф. канд. дис.— Свердловск, 1974.— 31 с.
- Фуряев В. В. Принципы и методы повышения пожароустойчивости молодняков.— Лесное хозяйство, 1977а, № 9, с. 83—86.
- Фуряев В. В. Лесные пожары как экологический фактор формирования тайги.— В кн.: Вопросы лесоведения Сибири. Вып. 4. М., 1977б, с. 136—147.
- Фуряев В. В. Пожароустойчивость лесов и методы ее повышения.— В кн.: Прогнозирование лесных пожаров. Красноярск, 1978, с. 123—146.
- Фуряев В. В. Мелкомасштабное картирование послепожарной динамики лесов по аэрокосмическим снимкам.— Исследование Земли из космоса, 1980, № 2, с. 51—56.
- Фуряев В. В. Опыт ландшафтно-экологической оценки влияния пожаров на формирование лесов с использованием материалов аэрокосмической съемки.— В кн.: Космические исследования природных комплексов Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1983, с. 140—148.
- Фуряев В. В., Бахтинова Е. В., Зацепина С. А. Опыт разработки карты нарушенности лесов пожарами.— Лесное хозяйство, 1983, № 6, с. 52—55.
- Фуряев В. В., Гирс Г. И. Метод диагностики послепожарного состояния насаждений по материалам спектрально-аэрофотосъемки.— Лесоведение, 1981, № 2, с. 60—67.
- Фуряев В. В., Злобина Л. П. Послепожарные стадии темнохвойных лесов и их картирование по высотным снимкам.— В кн.: Дистанционная индикация структуры таежных ландшафтов. Новосибирск: Наука, 1981, с. 22—35.
- Фуряев В. В., Киреев Д. М. Изучение послепожарной динамики лесов на ландшафтной основе.— Новосибирск: Наука, 1979.— 160 с.
- Фуряев В. В., Киреев Д. М. Использование космических снимков для оценки влияния пожаров на формирование лесов.— В кн.: Дистанционная индикация структуры таежных ландшафтов. Новосибирск: Наука, 1981, с. 5—21.
- Фуряев В. В., Киреев Д. М., Сухих В. И., Жирин В. М. Использование космических снимков для оценки нарушенности лесов пожарами.— Исследование Земли из космоса, 1983, № 3, с. 43—49.
- Фуряев В. В., Солохин В. Н., Злобина Л. П. Метод учета площадей свежих пожарниц по материалам спектрально-аэрофотосъемки.— Лесное хозяйство, 1980, № 8, с. 52—55.

И. Н. ЕЛАГИН

ИЗУЧЕНИЕ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ЛАНДШАФТОВ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

Для одновременного получения сведений о фенологическом состоянии лесов, степей, болот, водоемов и сельскохозяйственных угодий на больших территориях, для изучения сезонных изменений в них и оперативно-го решения многих хозяйственных задач нельзя обойтись без примене-

ния современных дистанционных методов и, прежде всего, авиации. Особенно большой эффект они дадут при изучении малонаселенных районов севера европейской части страны и Сибири, в которых иным путем названную информацию получить практически невозможно. Значительную пользу эти методы изучения сезонных изменений элементов ландшафтов принесут и в населенных, обжитых районах страны. В них только так можно быстро, почти одновременно получить сравнимую, собранную по одной методике интересующую информацию. В связи с этим возникла необходимость разработать методику использования аэрокосмических средств информации для изучения сезонных изменений различных участков ландшафтов, ее применения, дать перспективу их дальнейшего развития.

Ожидается, что с научной точки зрения аэрокосмические методы изучения сезонных изменений, происходящих на обширных территориях континентов, позволят обнаружить общие закономерности прохождения явлений в зависимости от географического положения, рельефа, высоты над уровнем моря, степени антропогенного воздействия. Предполагается также, что овладение методикой дистанционного определения фенологического состояния господствующих растений позволит, если использовать принцип синхронности развития растений, в короткие сроки на больших территориях определять фенологическое состояние других компонентов изучаемых биогеоценозов и основные параметры условий среды. Все это, несомненно, резко удешевит и ускорит познание растительного мира. Основным путем реализации получаемых сведений должно быть составление кратковременных и длительных прогнозов различного содержания, а также в случае необходимости быстрое вмешательство в ход естественных процессов.

Среди практических задач, которые могут быть решены дистанционными методами фенологических исследований, следует назвать возможность быстрого определения начала и конца пожароопасных периодов, различных сельскохозяйственных и лесохозяйственных работ, оптимальных и допустимых сроков различного рода рубок, полной и всесторонней таксации лесов, определение запасов лекарственного сырья. В конечном счете будут рациональнее использоваться людские ресурсы и техника, эффективнее вестись хозяйство.

Первые исследования по дистанционной фенологии в нашей стране появились в середине 30-х годов благодаря Г. Г. Самойловичу [1937, 1959], наблюдавшему за сезонными изменениями с самолетов. К середине 80-х годов обобщение накопленных сведений о возможностях использования авиации для изучения сезонного развития растительности сделали Е. А. Галкина и К. Е. Мелешко, написавшие специальную главу для книги И. Н. Бейдеман [1974]. Они пришли к следующим выводам.

1. Наиболее перспективен для фенологии аэроспектрометрический метод, в том числе аэросъемка в узких спектральных интервалах. Особенно важна видимая область спектра с длиной волны 400—740 нм. Дополнительная информация может быть получена при съемке в ближней инфракрасной области (770—900 нм).

2. По сравнению с аэровизуальным наблюдением фотографирование местности имеет ряд преимуществ: увеличивается площадь доступной для изучения территории и, следовательно, возрастает возможность выявления тех или иных закономерностей.

3. Оптимальные масштабы аэрофотографирования 1 : 5000. При таком масштабе объекты размером 0,2—0,3 м достаточно четко отражаются на снимках при разрешении $R_c = 200$ мм.

4. Крупномасштабное фотографирование лучше всего производить одновременно на черно-белую, спектральнозональную и цветную пленки.

С начала последней трети текущего столетия для изучения сезонного развития лесной растительности все в большей степени стали использоваться визуальные наблюдения с космических аппаратов типа «Восток», «Союз», «Скайлэб» и фотоснимки, сделанные искусственными спутника-

ми Земли. Первые результаты, полученные после соответствующей обработки космоснимков, позволили прийти к заключению о возможности таким путем получать некоторые сведения о динамике и состоянии растительности на обширных площадях [Попова, 1975; Шуляк, Рождественская, 1975; Heller, 1978].

Пирсен и др. [Pearson e. a., 1976] доказали, что на многоспектральных аэроснимках лугов несложно определить биомассу травостоя. Ю. М. Бенилов [1977] сделал вывод, что в сельском хозяйстве анализ космической многоспектральной информации позволяет контролировать распределение сельскохозяйственных культур, определять некоторые фенологические показатели (степень готовности почв для проведения пахоты, сева), выявлять участки заражения вредителями и болезнями. Л. Ф. Январева [1981], вслед за Дж. Джонсон [Jensen e. a., 1978], анализируя космические снимки земной поверхности, разделение полей по полевым культурам основывала на различных их фенологического состояния, определяемого на ключевых участках наземными методами. Она считает возможным различать даже такие этапы органогенеза растений, как всходы, кущение, молочная и восковая спелость и др. Рекомендуются сроки съемки.

Помимо определения фенологического состояния участков ландшафтов в тот или иной момент дистанционные методы стали применяться для составления фенологических карт обзорного характера или более детальных. В этом отношении большие результаты получены главным образом для полупустынных и пустынных районов страны [Харин, 1960, 1975, 1980; Виноградов, 1979].

В заключение обзора отметим, что фенология при дистанционных методах исследования использовалась в основном для более точной инвентаризации лесов и сельскохозяйственных угодий (определения площади и состава древостоев и сельскохозяйственных культур, диаметра крон деревьев, их формового разнообразия); неплохие результаты получены при составлении фенологических карт. В меньшей степени — для получения сведений об обилии цветения и плодоношения, горимости лесов, урожая полевых культур. В то же время фенологические наблюдения не использовались для определения экологических условий в поле и лесу, их динамики, для решения многих практических задач и прежде всего для составления прогнозов различной длительности. Совсем не было попыток обнаружения закономерностей прохождения феноявлений в зависимости от географического положения изучаемых ландшафтов.

Основные цели осуществляемых исследований: разработать методику дистанционного определения фенологического состояния отдельных участков ландшафтов и в первую очередь отдельных компонентов растительности; научиться определять параметры экологических условий, в которых находятся в момент определения компоненты; вскрыть общие закономерности сезонного развития ландшафтов; попытаться определить их зависимость от условий рельефа, степени удаленности от больших водоемов, в том числе от морей; наконец, научиться прогнозировать сроки начала и степень выраженности феноявлений.

Научно-методические основы реализации программ дистанционных исследований. Теоретическая основа дистанционной фенологии, как и наземной, до сих пор четко не сформулирована. Объясняется это плохой изученностью экологии растений, которая является основой научной фенологии. Мы предлагаем предварительный вариант теории фенологических изменений у растений. Смена фенологических фаз — процесс, запрограммированный в филогенезе сезонной ритмичкой климатических условий. В пределах умеренных широт основным условием начала активной вегетации растений является повышение температуры корнеобитаемых слоев почвы не менее чем до 3—4° и температуры воздуха до 10—15°. Начало периода летнего развития определяется снижением по сравнению с весной влажности почвы, повышением температуры воздуха до 20—25° и началом сокращения продолжительности фотопериода. На-

чало осенних явлений — функция дальнейшего иссушения почвы, сокращения фотопериода и, наконец, снижения температуры воздуха и почвы. Опираясь на эти зависимости, легко разработать методы вмешательства человека в ход естественных процессов, добиваясь необходимого эффекта.

Дистанционная феноиндикация ландшафтов основана на трех закономерностях:

- 1) способность образовывать растительными сообществами или другими участками ландшафтов (водоемами, сельскохозяйственными полями и т. п.) фенологических аспектов;
- 2) синхронность развития совместно произрастающих растений;
- 3) относительное постоянство экологических условий, необходимых растениям одного и того же вида для начала той или иной фенологической фазы.

Изучение аспективности фенологических явлений было начато русским геоботаником В. В. Алехиным в начале текущего столетия в степях. Затем фенологические аспекты были описаны для пустынь, лесов, тундр. Благодаря этим описаниям мы, например, представляем, какую окраску имеют леса во время разворачивания листьев, летом, осенью. Однако до начала использования дистанционных методов практического применения эти знания не находили.

В настоящее время только благодаря аспективности фенологических явлений дистанционно (визуально или на фотоснимках) можно установить этап сезонного развития господствующих в сообществах растений, так как площадь аспектов всегда намного больше, чем площадь проекции кроны одного растения.

Аспекты лучше регистрируются, если их наблюдать под острым углом к горизонтالي. На равнинных ландшафтах получение таких фотографий, при современных способах аэро(космо)съемки, возможно лишь на вираже, в горах — при обычной съемке, т. е. под прямым углом к горизонтали.

В пределах умеренных широт везде наиболее яркие, контрастные аспекты образуются на различных этапах появления или разрушения снежного покрова, облиствения или осенней раскраски листьев в лесах, цветения травянистых растений на безлесных территориях лугов, степей (ромашки, иван-чай, лабазника), сельскохозяйственных полей (цветение льна, подсолнечника, рапса). На болотах летом — во время созревания плодов у пушицы, осенью — после отмирания травянистой растительности.

Синхронность развития совместно произрастающих растений — постоянство фенологического состояния растений одних видов по отношению к другим. Например, ель начинает цвести тогда же, когда зацветает черемуха, сосна зацветает одновременно с рябиной и брусникой.

Учитывать эту закономерность необходимо потому, что фенологические аспекты образуются только господствующими растениями. Поэтому этапы сезонного развития растений, входящих в нижние ярусы, устанавливаются только косвенно, по фенофазному состоянию растений, образующих аспекты.

Относительное постоянство экологических условий, необходимых растениям для прохождения того или иного этапа развития, установлено недавно в результате изучения растений одних и тех же видов в различных географических условиях. Оказалось, что для начала нового этапа развития растение нуждается в строго постоянной, отличной от других этапов, температуре и влажности воздуха и корнеобитаемого слоя почвы, примерно постоянной длине фотопериода и т. п.

Только зная перечисленные закономерности, можно дистанционными методами определить фенологическое состояние различных компонентов ландшафтов, экологические условия, в которых они находятся, наметить наиболее рациональные хозяйственные мероприятия, прогнози-

ровать ход изменения природных процессов и пути развития сельского и лесного хозяйства.

Основной путь дистанционной феноиндикации ландшафтов — это поиск на их территории ярких, контрастных признаков — феноиндикаторов, легко регистрируемых на расстоянии, обычно отличающихся от основного фона по окраске и являющихся следствием, как правило, иного фенологического состояния названных участков ландшафтов.

Феноиндикаторы могут быть биотического или абиотического происхождения. Биотические феноиндикаторы, как уже указывалось, образуются растительными сообществами, абиотические — снежным покровом, льдом на водоемах, разливами рек, лишенными растительности сельскохозяйственными полями.

Каждый феноиндикатор (например, «Приобретение осинниками осенью желто-оранжевой окраски») характеризуется комплексом довольно устойчивых признаков экологического и фенологического характера. Осинники такой окраски являются признаком устойчивого осеннего перехода среднесуточной температуры воздуха через 10° , некоторого снижения температуры верхнего (0—20 см) слоя почвы. Однако ее значения, за исключением средней и северной тайги, все еще выше 10° и на севере $7-8^{\circ}$. Влажность корнеобитаемого слоя почвы уменьшается до 20—30%, продолжительность светлых частей суток до 13—14 ч (весною, в период роста листьев у осины, продолжительность фотопериода 17,5—18 ч).

При названном фенологическом состоянии осины, которая всегда встречается в виде куртин, вкрапленных в березняки, лиственничники, сосняки, у березы продолжается интенсивное пожелтение листьев. До 25—50% ее листьев приобретает желтую окраску и даже опадает. Однако дистанционными методами это установить трудно, так как в первую очередь отмирают и опадают листья нижних частей крон.

Кустарники (черемуха, виды ив, шиповник, боярышник, спирея) в начале описываемого феноиндикатора всегда находятся в состоянии завершения фазы осеннего расцвечивания листьев и рассеивания плодов. В аналогичном состоянии все летне-зеленые травянистые растения. Однако все эти явления дистанционными методами также не установить, они регистрируются только косвенно, по окраске крон осины.

Описываемый феноиндикатор может служить надежным признаком исчезновения в лесах кровососущих насекомых, отлета насекомоядных птиц. Он может служить и устойчивым показателем оптимальных сроков проведения ряда лесо- и сельскохозяйственных работ: завершения уборки зерновых, заготовки кормов, подъема зяби, выборочной уборки картофеля и т. п.

В пределах равнинных ландшафтов комплексы признаков, свойственных каждому феноиндикатору, остаются постоянными на большой территории, часто для всего ландшафта. В горных ландшафтах они постоянны лишь для того высотного пояса, где были обнаружены. В иных поясах их характеристики могут отличаться.

К настоящему времени для многих районов страны с равнинными ландшафтами (в азиатской части СССР с лесостепи до лесотундры, в европейской части — для ЦЧО и Нечерноземья) феноиндикаторы найдены, описаны, экологически и фенологически охарактеризованы.

Непременным условием правильного дешифрирования и тематической интерпретации аэрокосмоснимков является хорошее знание исполнителями названной работы ботанической географии, геоботаники, экологии и фенологии. Рядовой выпускник биологических факультетов университетов, сельскохозяйственных институтов с этой работой не справится, так как в большинстве институтов курс фенологии не читается, а экология преподается весьма поверхностно.

Другое обязательное условие правильного дешифрирования фотоснимков — их сопоставление со снимками того же масштаба, той же территории, но сделанными ранее. В результате такого сравнения удается примерно установить даты начала и конца изменений, скорость прохож-

дения явлений и т. п., без чего составлять оправдывающиеся прогнозы практически невозможно.

Описанные феноиндикаторы многих равнинных ландшафтов страны имеют довольно полную экологическую характеристику. Но если феноиндикаторы будут устанавливаться для новых территорий, то целесообразно в пределах изучаемых ландшафтов организовывать в наиболее характерных, легкодоступных местообитаниях ключевые наземные наблюдения. Последнее позволит уточнять фенологические и экологические характеристики, свойственные тем или иным феноиндикаторам, найденным дистанционными методами.

Наземные наблюдения должны осуществляться по традиционной для такого рода исследований схеме: фенологические наблюдения нужно вести за всеми компонентами изучаемых биогеоценозов (растениями всех ярусов, животными), возможно подробнее отмечая все экологические явления; экологические исследования (в тех же местообитаниях) должны включать в себя определение температуры и влажности воздуха и почвы тогда же, когда фиксируется фенофазное состояние растений и животных, продолжительность фотопериода, времени образования (исчезновения) и мощности снежного покрова, глубины грунтовых вод.

Одновременно же необходимо указывать наиболее рациональные, научно обоснованные хозяйственные и природоохранные мероприятия, которые целесообразно осуществлять на сельскохозяйственных полях, в лесах, составлять фенопрогнозы различной длительности.

Обобщение и оценка полученных результатов. Для анализа результатов наземных исследований и аэрокосмических съемок (или визуальных наблюдений) было произведено сравнение экологических параметров условий обитания растений, их фенологического состояния в разных географических районах (разных ландшафтах) при внешне одних и тех же феноиндикаторах.

Для анализа были выбраны те признаки состояния лесов, которые встречаются почти во всех изученных районах Средней Сибири, занимающей равнины левобережья Енисея. Отметим, что эти леса образованы наиболее широко распространенными не только в Сибири, но и в европейской части СССР древесными и кустарниковыми породами. Все они или одной и той же видовой принадлежности (осина, береза, сосна, лиственница), или относятся к близким видам (ель, пихта). Поэтому выводы, полученные в результате анализа, могут быть использованы в качестве ориентира и в других районах страны.

Их обобщение позволило установить, что фенологические изменения, имеющие место в лесах, на полях, лугах и болотах, не являются результатом действия какого-либо одного экологического фактора: влажности или температуры, продолжительности фотопериода.

Порядок величин, которыми характеризуются экологические условия в начале какого-либо фенологического явления, сильно зависит от географического положения изучаемого ландшафта. Особенно это касается температуры почвы. О ее показателях по дистанционным признакам надежно можно судить лишь для тонкого поверхностного (0—10 см) слоя. С глубиной различия возрастают, и примерная температура может быть определена лишь с учетом географического положения исследуемого ландшафта: с запада на восток и с юга на север температура снижается.

Еще сложнее определить дистанционными методами влажность почвы. Общие закономерности хотя и остаются постоянными во всех районах (весной наибольшая, осенью наименьшая влажность), ее конкретные показатели очень изменчивы, так как зависят от климатических и почвенных условий, растительности, нарушенности местообитаний. По дистанционным признакам о величине влажности почвы можно судить лишь для самого поверхностного, наиболее корнеобитаемого слоя. Температуру и влажность приземного (0—20 см в лесу, 0—1 м в поле) слоя воздуха дистанционными методами определить проще.

В географическом аспекте намного постояннее фенологические корреляции между совместно произрастающими растениями. Но следует учитывать, что это постоянство касается или одних вегетативных органов, или только репродуктивных. Определение степени развития репродуктивных органов по фенологическому состоянию, например, листьев может привести к ошибочным результатам.

Все сказанное позволяет прийти к заключению, что изучение феноиндикаторов какого-либо одного ландшафта наземными и параллельно дистанционными методами дает возможность в дальнейшем распространить полученные выводы на другие территории той же географической подзоны, изучаемые только дистанционными методами. Иначе говоря, информация, присущая каждому феноиндикатору, основанному на состоянии растительности, универсальна лишь для одного или нескольких близких ландшафтов. Для других территорий должны вноситься поправки, базирующиеся на упомянутых закономерностях.

Феноиндикаторы, характеризующие состояние абиотических факторов земной поверхности (снежный покров, разливы рек и т. п.), по сравнению с биотическими содержат намного более изменчивую информацию, ее ценность может быть значительно повышена только при наличии сведений о динамике температуры воздуха и количества выпадающих осадков.

Дистанционная феноиндикация ландшафтов предусматривает получение сведений фенологического характера не только в целях оперативного решения многообразных хозяйственных и природоохранительных задач, но и для составления разнообразных прогнозов.

Вследствие того, что при дистанционных исследованиях невозможны обычные способы прогнозирования феноявлений (микроскопический анализ репродуктивных почек, подсчет их обилия, учет влияния заморозков, распространения энтомовредителей), основным методом составления прогнозов становится определение скорости прохождения отдельных процессов и широкое применение принципа синхронности сезонного развития совместно произрастающих растений.

При регулярных визуальных наблюдениях и фотографировании местности с летательных аппаратов нетрудно, например, определить скорость схода снежного покрова с лесопокрытой площади. Если от начала до конца этого явления проходит 20—25 дней, то обоснованным будет ожидание благоприятной весны, хорошего прироста и урожая древесных и кустарниковых пород. Если же описываемое явление продолжается всего 5—10 дней, то это будет означать массу неблагоприятных последствий: схода талых вод поверхностным стоком и, следовательно, их незначительный запас в почве, быстрое пересыхание подстилки и раннее начало пожароопасного периода, массовое опадение завязей и т. п.

Установление длительности других сезонных явлений позволяет прогнозировать и многие другие процессы. Так, при наземных наблюдениях, не говоря уже о дистанционных методах исследования, почти не удается уловить начало цветения ели и сосны и, следовательно, установить, в каких погодных условиях оно происходило, какой можно ожидать урожай семян со всеми вытекающими отсюда последствиями (обсеменение гарей и вырубков, обилие животных, заготовка семян и т. п.). Между тем известно, что ель зацветает почти одновременно с черемухой, а сосна с рябиной, т. е. с растениями, часто образующими куртины, во время цветения хорошо различимые даже с высоты 1—2 км.

Черемуха и рябина в средние по климатическим условиям года цветут около 10 дней. Значительно более быстрое их отцветание (4—6 дней) свидетельствует о высокой температуре и низкой влажности воздуха в это время, что неблагоприятно для опыления и сосны, и ели. Последнее может служить отдаленным признаком того, что урожай этих древесных пород может быть низким.

Как показано выше, аэрометодами можно получить очень обширную информацию (фенологическую, экологическую, хозяйственную) о ланд-

шафте, но только если будет применена аэросъемка в оптимальном масштабе. На основании полученных данных можно утверждать, что наибольшей фенологической информацией обладают спектрозональные и даже черно-белые снимки в масштабах 1 : 10 000—1 : 15 000. Увеличение масштаба выше этого предела нежелательно, так как на аэрофото-снимке запечатлевается лишь небольшая территория и это не позволяет производить необходимые сравнения: облесенные территории и сельскохозяйственные поля с неодинаковым флористическим составом, экспозицией, крутизной.

Чем расчлененнее рельеф местности и, следовательно, разнообразнее условия местообитаний, тем выше может быть предел укрупнения масштаба съемки.

Наблюдения за фенологическим состоянием лесной растительности и сельскохозяйственных полей помимо сведений о сезонной динамике тех или иных процессов дают возможность получить и более полную информацию инвентаризационного характера о том или ином ландшафте (в лесах — породный состав и высоту древесных пород, количество валежа, густоту дорожно-тропинчатой сети; на сельскохозяйственных территориях — нахождение перспективных площадей для выпаса скота и заготовки сена), о динамике созревания полевых культур и т. п.

В зарубежной литературе освещается лишь дистанционная феноиндикация сельскохозяйственных полей, чтобы составлять прогнозы их урожайности [Bialonsz, Girard, 1976; Air et Cosmos, 1978; The New Landsat, 1978; President's Civilian..., 1979; и др.].

Задача определения фенологического состояния дикорастущих растений, животных, параметров условий их существования не решается. Одна из причин этого — отсутствие в странах, применяющих дистанционные методы исследований, малоосвоенных, ненаселенных территорий, где в основном и должна применяться дистанционная феноиндикация местности.

Выводы. Дистанционная фенология — новое направление изучения ресурсов земли в их сезонной динамике. В нашей стране она начала применяться, хотя и в небольших размерах, уже в 30-е годы, однако до сих пор находится в состоянии поиска наиболее дешевых и эффективных способов феноиндикации земной поверхности.

На современном этапе технических возможностей наибольший эффект дают визуальное изучение фенологических явлений и их аэрофотографирование. Аэровизуальные наблюдения могут проводиться, по существу, при любой облачности и, следовательно, намного более регулярно, чем фотографирование местности для тех же целей. Этот способ получения необходимой информации незаменим во времена года, характеризующиеся обилием осадков. Другим большим преимуществом визуального метода является высокая оперативность. Однако данный метод отличается трудоемкостью, субъективностью и невозможностью машинной обработки получаемой информации. Для многих работ будущее — за регулярным фотографированием одних и тех же территорий в различном масштабе. Только с помощью фотографий можно изучать сезонную динамику отдельных участков ландшафтов.

Описанные выше методы позволяют пока установить лишь отдельные, наиболее контрастные моменты фенологического состояния местности — феноиндикаторы, а не все явления, время начала которых целесообразно знать.

Умение распознавать в результате дистанционных исследований видовой состав лесов, лугов, культур сельскохозяйственных полей, их фенологическое состояние дает ключ к определению параметров экологических условий, в которых находятся растения. Точность определения сильно возрастает, если в пределах изучаемого ландшафта или группы близких ландшафтов хотя бы на немногих участках в течение одного — трех лет велись наряду с дистанционными наземные эколого-фенологические исследования.

Объем и надежность информации, которую содержит тот или иной феноиндикатор, зависит от продолжительности времени наблюдения. Для длительных феноиндикаторов (порядка нескольких месяцев) важно знать, когда произошло наблюдение (фотографирование): в начале, середине, конце явления. Тем не менее информация будет весьма приближенной. Ее объем и точность возрастают с уменьшением продолжительности феноиндикатора. Наиболее достоверными являются сведения, поступающие от кратковременных признаков (несколько дней).

К феноиндикаторам с небольшой информацией относятся зимние, ранневесенние и поздние осенние. Наоборот, феноиндикаторы других сезонов или подсезонов года содержат очень много сведений экологического и хозяйственного характера. Зимой, например, при регулярных дистанционных методах исследования имеется возможность установить лишь наличие или отсутствие снежного покрова, его примерную мощность, получить некоторое представление о динамике температурного режима почвы, силе и постоянстве ветров, возможных средствах передвижения человека. Ранней весной несложно определить характер разрушения снежного покрова, температуру воздуха и почвы, последовательность пробуждения растений, места скопления диких животных. В то же время с помощью феноиндикаторов разгара весны можно установить не только температуру и влажность воздуха и почвы, но и, что особенно важно, фенологическое состояние всех входящих в природный комплекс растений, а следовательно, и прикладное значение этих характеристик (особенности цветения и плодоношения, составление всевозможных прогнозов и т. п.).

Техника аэросъемки древостоев и зарослей травянистых растений в различном фенологическом состоянии должна быть неодинаковой. Однотонные аспекты древостоев (летом и осенью) из-за высокой сомкнутости кроны, их большой площади достаточно ярки и фиксируются при обычной аэросъемке под прямым углом к земной поверхности. Травянистые пространства, за исключением посевов культурных растений, на больших пространствах могут создавать только два неярких однотонных аспекта — зеленый в период вегетации и светло-(или темно-) бурый, когда растения находятся в отмершем состоянии (в Сибири). Яркие, монотонные аспекты дикорастущих травянистых растений в цветущем состоянии обычно встречаются на относительно небольших площадях, что затрудняет их аэросъемку. Другая отличительная черта — хорошая выраженность только при съемке или визуальном наблюдении под острым углом к земной поверхности.

В отличие от весеннего и осеннего сезонов года, когда индикационную роль в лесной зоне выполняют древесные породы, об изменениях, происходящих летом, следует следить по аспектам, образуемым цветущими травянистыми растениями.

Результаты обработки космических снимков, полученных с аппаратов типа «Космос», «Союз» и «Скайлэб», свидетельствуют о том, что на исследуемых территориях легче всего определяются сезоны года. Последнее уже само по себе имеет существенное практическое значение (устанавливаются пожароопасные периоды, сроки начала ряда лесохозяйственных работ, аэросъемки лесов и т. п.). В ряде случаев, особенно если снимки были сделаны при благоприятных условиях, можно установить подсезоны года и, следовательно, получить представление о состоянии растений с точностью до фенофазы.

Первоочередным результатом интегрирования получаемых сведений о биологии и экологии растений, характере их сезонного развития, динамике метеорологических факторов должно быть составление фенологических карт — оперативных или включающих элементы прогнозов различной длительности. Упомянутые карты могут быть рассчитаны на разные контингенты работников народного хозяйства. Они могут иметь универсальное значение, с самой общей информацией, или узкоспециализированные.

Дистанционная индикация сезонных изменений, происходящих на земной поверхности, может помочь и более быстрому решению многих теоретических вопросов природопользования. В лесоведении — разработке теории продуктивности лесов путем сравнения продолжительности вегетационных периодов в различных географических районах и местообитаниях, интенсивности и продолжительности периодов активного фотосинтеза, роста. В агрономии — обоснованию оптимальных вариантов размещения сельскохозяйственных культур, способов ведения хозяйства и т. п. Резюмируя сказанное, можно утверждать, что использование дистанционных методов для изучения сезонного развития растений даст большой научный и экономический эффект.

Для внедрения в производство необходимо результаты исследований издать в виде руководства массовым тиражом, карманного формата с приложением хорошо отпечатанных аэроснимков, иллюстрирующих отдельные фенологические состояния ландшафтов.

В районах, перспективных для развития сельского хозяйства, следует итоги исследований использовать для составления карт хода сезонных изменений, чтобы с помощью их более уверенно, в пределах заданной территории, размещать поля с сельскохозяйственными культурами, планировать сенозаготовки, выпас и т. п.

Дальнейшие исследования по дистанционной фенологии целесообразно развивать по следующим направлениям:

а) нахождение феноиндикаторов равнинных и горных ландшафтов, позволяющих устанавливать не только крупные изменения в сезонном развитии природных комплексов, но и их детали, с одновременным наземным научным и практическим обеспечением;

б) создание возможности регулярного получения высококачественной информации о фенологическом состоянии растительности одних и тех же территорий вне зависимости от погодных условий;

в) автоматическая регистрация и обработка изменений, происходящих в процессе сезонного развития территорий, в том числе составление фенологических карт;

г) составление оправдывающих прогнозов хода сезонных изменений, происходящих в природных комплексах ландшафтов.

ЛИТЕРАТУРА

- Бейдеман И. Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. — Новосибирск: Наука, 1974. — 240 с.
- Бенилов Ю. М. Многоспектральные аэрокосмические методы исследования ресурсов Земли. — Природа, 1977, № 10, с. 10—23.
- Виноградов Б. В. Дистанционная фенология в геоботанике. — Бот. журнал, 1979, т. 64, № 6, с. 805—819.
- Елагин И. Н. Дистанционная фенология. — Новосибирск: Наука, 1983. — 206 с.
- Попова Т. А. Новые виды дистанционных исследований — средство изучения растительного покрова. — В кн.: Тезисы докладов, представленных 12-му Международному ботаническому конгрессу (3—10 июля 1975 г.). Т. 1. М.: Наука, 1975, с. 196.
- Самойлович Г. Г. Применение авиации для изучения периодических явлений природы. — Изв. Геогр. о-ва СССР, 1937, № 2, с. 268—275.
- Самойлович Г. Г. Организация и техника аэровизуальных фенологических наблюдений и учета плодоношения. — Л.: Изд-во АН СССР, 1959. — 33 с.
- Харин Н. Г. О дальнейшем внедрении крупномасштабных аэроснимков для дешифрирования лесов. Аэрометоды в природных исследованиях. — В кн.: Труды Лаборатории аэрометодов. Т. 10. М.—Л., 1960, с. 134—140.
- Харин Н. Г. Дистанционные методы изучения растительности. — М.: Наука, 1975. — 131 с.
- Харин Н. Г. Дистанционные методы и охрана природы пустынь. — М.: Наука, 1980. — 180 с.
- Шуляк А. С., Рождественская Н. А. Анализ сезонных изменений растительности по результатам дешифрирования телевизионных космических снимков (на примере Нижнего Амура). — В кн.: Тезисы докладов, представленных 12-му Международному ботаническому конгрессу (3—10 июля 1975 г.). Т. 1. М.: Наука, 1975, с. 22—25.

- Январева Л. Ф. Изучение и картографирование сельскохозяйственного использования земель по космическим снимкам. — Исследование Земли из космоса, 1981, № 5, с. 103—120.
- Air et Cosmos, 25 mars, 1978, v. 15, N 711, p. 39.
- Bialonsz S., Girard M. C. Les coefficients de la reflexion spectrale des sols dans les bandes de travail de «Landsat». — In: Fotointerpretacja w geografii. Katowice, 1976.
- Heller K. S. Case applications of remote sensing for vegetation clamaje assesement. — Photogrammetric engineering and remote sensing, 1978, v. 44, N 9, p. 115—116.
- Jensen J. K., Estes J. E., Tinney L. R. High-Altitude versus landsat imagery for digital crop identification. — Photogrammetric engineering and remote sensing, 1978, v. 44, p. 723—733.
- Pearson R. L., Tucker C. J., Miller L. D. Spectral mapping of shortgrass prairie biomass. — Photogrammetric engineering and remote sensing, 1976, v. 42, N 3, p. 317—323.
- President's Civilian Space Policy. — In: Hearings before the Committee on Science and Technology 1979 February. Washington, 1979, p. 9.
- The New Landsat. — Spaceflight, August 1978, v. 20, N 8, p. 283—291.

С. М. ГОРОЖАНКИНА

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЛЕСОБОЛОТОВЕДЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Одной из главных природных особенностей Западно-Сибирской равнины является исключительно широкое развитие заболоченности, которая ставит Западную Сибирь в ряд уникальнейших природных феноменов. По данным «Союзгипролесхоза» в наиболее низменной ее части — Тюменской, Новосибирской и Томской областях — общий гидроресомелиоративный фонд составляет 72,3 млн. га, из которых около половины приходится на долю болот и остальное — заболоченных и болотных лесов. Заболоченность гослесфонда составляет 53% [Сабо, 1975].

Народнохозяйственное значение болот Западной Сибири многообразно и противоречиво. Болота существенно затрудняют и удорожают разведку и эксплуатацию природных ресурсов, строительные работы. Вместе с тем болота содержат колоссальные запасы чистой пресной воды, являются потенциальными источниками энергетических ресурсов и сырья для химической переработки, мощным резервом развития сельского и лесного хозяйств.

Одна из составных частей водного благоустройства Западной Сибири — осушение заболоченных лесных земель. Поэтому первостепенное значение приобретает изучение географического распространения явлений заболачивания, их типологии и классификации. На основе этих материалов необходимо разработать лесоболотное районирование, которое могло бы служить природной основой генеральной схемы освоения гидромелиоративного фонда, учитывающей размещение, очередность и интенсивность работ по осушению заболоченных земель.

Значение аэрокосмических методов в успешном осуществлении этих задач трудно переоценить. При помощи аэрокосмической съемки предстоит решить целый ряд вопросов, в частности: 1) приступить к широкому картографированию земель, подверженных заболачиванию; 2) изучать взаимосвязи и взаимообусловленность отдельных элементов гидроморфного ландшафта; 3) выявлять и прогнозировать временную динамику естественных процессов заболачивания; 4) разработать принципы лесоболотного районирования с учетом соотношения различных категорий земель гидромелиоративного фонда.

Состояние вопроса. Аэрокосмические методы как молодое направление переживают стадию активного поиска и разработки методов получения и обработки информации, сферы научно-практического приложения результатов. В последние годы значительно возрос арсенал средств ди-

станционного зондирования, в связи с чем существенно расширился круг задач, решаемых этими методами. Помимо традиционной однозональной съемки у нас в стране и за рубежом [Баррет, Куртис, 1979] успешно экспериментируется многозональная фотосъемка и нефотографические виды съемок. В числе перспективных для лесного болотоведения следует называть съемки, регистрирующие влажность грунтов: тепловая ИК, СВЧ-радиометрическая, радиотепловая, радиолокационная. Новые виды зондирования существенно дополнили возможности дистанционной регистрации природных объектов, однако не в состоянии подменить традиционного фотографирования — метода, достаточно хорошо освоенного. К тому же полноценная интерпретация нефотографических видов съемок требует сложных приемов обработки, хорошего наземного обеспечения и набора многоотраслевых кондиционных карт. Для территории Западной Сибири мы такими материалами пока еще не располагаем.

Практика показала, что фотографические методы и по сей день не исчерпали своих возможностей. Фотографическая съемка выполняется с помощью относительно простой, хорошо отлаженной аппаратуры. Это позволяет получать снимки с хорошими фотометрическими характеристиками изображения, высоким пространственным разрешением, большим диапазоном выбора светофильтров, возможностью стереоскопического анализа, визуальным сходством изображений с фотографируемыми объектами, что облегчает процесс их распознавания. Фотоснимки с наибольшей полнотой позволяют изучать геометрию структур ландшафтной оболочки, их состав, сложность, контрастность, характер природных границ и в этом смысле являются универсальными. Космические материалы в большинстве своем также представляют собой фотовидеоинформацию, но полученную с более высоких орбитальных ступеней. Таким образом, однозональная фотосъемка, которую мы использовали в своих исследованиях, является пока наиболее надежным и доступным видом дистанционной информации.

Наиболее широкое применение дистанционные методы нашли в геологии (в особенности космические материалы) и лесном хозяйстве. Область приложения аэрокосмоснимков для лесоболотоведческих целей несравненно более ограничена и относится в основном к европейской части СССР. По отношению к восточным районам страны, в частности к Западной Сибири, можно в целом считать, что дистанционные методы здесь стали развиваться гораздо позже в связи с деятельностью организации «Геолторфразведка» по учету торфяного фонда, и опыт в целом пока еще относительно невелик.

Основные направления приложения дистанционных материалов в болотоведении определены в работах Е. А. Галкиной [1953, 1969 и др.]. В литературе наиболее подробно охарактеризованы дешифровочные признаки болотных экосистем на аэрофотоизображениях в связи с их геоморфологическим залеганием [Галкина, 1964а и др.], растительным покровом [Жирюшкин, Галкина, 1970; Нефедов, Константинов, 1967; Попова и др., 1977], степенью поверхностной увлажненности и устройством болотной гидросети [Иванов, 1957; Романова, 1959; Галкина, 1959; и др.], характером облесенности [Горожанкина, Константинов, 1983], обеспеченностью минеральным питанием [Дмитриев и др., 1974; Елпатьевский и др., 1978]. Произведен сравнительный анализ разных видов и сезонов аэрофотосъемки для индикации болот [Янушевский, 1967; Виноградов, Константинов, 1981; и др.]. Что же касается космической съемки, то опыт болотного дешифрирования на этом уровне в целом очень невелик, а для Западной Сибири можно привести лишь единичные примеры [Селезнева, Шуляк, 1973; Войцеховская, 1983; Горожанкина, 1983а].

Немногочисленна также и литература, посвященная классификации и картографированию гидроморфного покрова Западной Сибири с применением дистанционных методов [Романова, 1967; Глебов, Калашников, 1981; Горожанкина, 1981; Горожанкина, Константинов, 1983; Войцехов-

ская, 1983]. Однако уже накоплен большой объем аэрокосмических материалов, достаточный для широкого развертывания разномасштабного лесоболотного картографирования этой территории.

Появление космических снимков намного упростило процесс создания обзорных карт, позволило перейти от многоступенчатого обобщения крупномасштабных материалов к прямому картографированию в широком диапазоне масштабов [Виноградов, 1974; Богомолов, 1974; Книжников, Кравцова, 1976; Котова и др., 1979]. Карты, созданные на основе космических материалов, характеризуются повышенной точностью, информационной емкостью и достоверностью. Космоснимки, обладающие высокой степенью естественной генерализации изображения, в сравнении с аэрофотоматериалами имеют ряд новых специфических свойств в передаче информации. Поэтому встала необходимость пересмотра ранее существовавших представлений по целому ряду вопросов, касающихся, в частности, классификации и картографирования в ряду меняющегося масштаба.

Вопросы классификации являются важнейшим разделом картографирования, но именно этот раздел относится к числу наиболее спорных из-за отсутствия единообразного подхода и неоднозначного понимания авторами уже принятых классификационных терминов. При картографировании на дистанционной основе положение еще более осложняется тем, что специфика самого метода предъявляет ряд дополнительных требований к типологии картографируемых таксонов, связанных с характером их фотоизображения и естественной пространственной интеграции на разных масштабных ступенях. Картографирование на уровне традиционных типологических классификаций возможно лишь в крупном и среднем аэрофотосъемочном масштабе. При работе с космическими изображениями наиболее приемлемы классификационные системы, основанные на хронологических принципах [Галкина, 1962, 1964б и др.].

Районирование болотного покрова Западной Сибири вплоть до настоящего времени осуществлялось преимущественно традиционным методом, основанным на зонально-климатических принципах [Пьявченко, 1963; Лисс, Березина, 1981], либо частично с использованием ключевых материалов аэрофотосъемки [Романова, 1976а, б]. Большой объем мелкомасштабных снимков территории Западной Сибири в настоящее время дает возможность приступить к разномасштабному районированию лесоболотного покрова на дистанционной основе. Крупно- и среднемасштабные космоснимки обеспечивают детальное районирование. Для выполнения мелкомасштабных обзорных схем вполне пригодны телевизионные снимки. Последние значительно уступают фотографическим материалам по качеству изображения и разрешающей способности [Котова и др., 1979], но хорошо отражают общегеографические закономерности распределения болотного покрова, необходимые на данном уровне расчленения. К тому же материалы телесъемки из космоса более доступны потребителю, поскольку имеют систематическую повторяемость, высокую оперативность и обходятся значительно дешевле космофотосъемки.

В настоящей работе изложены основные итоги десятилетних исследований по применению и совершенствованию методов дистанционного зондирования в лесоболотоведческом изучении Западной Сибири, включая вопросы лесоболотоведческой классификации, картографирования и районирования территории. Соответственно поставленным задачам проанализированы материалы аэрофотокосмических и телевизионных съемок, их информативность, характер естественной генерализации изображений, преимущество масштабов, соотношение традиционных наземных исследований и методов дистанционного зондирования в решении лесоболотоведческих вопросов.

Методика исследований.

1. Основные этапы сбора материалов. Программа выполнялась параллельно по двум направлениям: работа с дистанционными материалами и натурные обследования. Сбор и обработка мате-

риалов проходили в следующем порядке: предварительное знакомство с районом исследований по литературным, картографическим и фондовым материалам; подбор и предварительная обработка разномасштабных топографических материалов и дистанционных съемок разных видов; подбор экспериментального ключевого участка для натурального изучения; камеральное дешифрирование ключевых участков по снимкам; натурные исследования; обработка материалов и получение конечных результатов.

2. Работа с дистанционными материалами. Основной вид обработки снимков — визуально-стереоскопический. В камеральный период выполнялось предварительное дешифрирование изображений и классификация контуров по прямым фоновым-текстурным и косвенным (ассоциативным) признакам. На этой основе создавались разномасштабные рабочие схемы для последующего наземного обследования в полевой период. Методом подбора съемок, формирующих непрерывный ряд масштабов от крупного аэрофотосъемочного до обзорного космического, прослежены закономерности естественной генерализации изображений природных объектов, выявлена информативная емкость каждого масштаба, определены важнейшие дешифровочные признаки болот и заболоченных лесов. Сопоставление снимков разного сезона, а также черно-белых и спектрзональных позволило выявить оптимальные виды съемок для индикации отдельных свойств лесоболотных экосистем.

3. Натурные лесоболотоведческие исследования. Аэрокосмическая съемка обеспечивает представление о статических, пространственных закономерностях покрова, но не дает исходную лесоболотоведческую характеристику, которая выявляет генетические и временно-динамические закономерности процессов болотообразования. Дистанционные методы не в состоянии подменить трудоемкие наземные исследования, но значительно облегчают задачу исследователя в том, что сводят к необходимому минимуму количество наземных маршрутов и на основе визуальных признаков позволяют прибегать к широкой экстраполяции материалов, без чего немисливо картографирование сколько-нибудь обширных по площади территорий.

Наземное обеспечение дистанционных съемок выполнено на экспериментальном ключевом участке, который охватывает Кас-Енисейское междуречье на восточной окраине Западно-Сибирской равнины. Ключевой участок, весьма ограниченный по площади, характеризуется исключительным разнообразием геоморфологических условий и, как следствие этого, широким набором эколого-динамических рядов современного биогеоценотического покрова. Наземные исследования выполнены с учетом ландшафтной структуры территории [Киреев, 1979]. Проводился совместный анализ всех элементов биогеоценотического покрова, включая автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные, в их взаимосвязи и взаимообусловленности. Это позволило глубже проникнуть в природу самого процесса болотообразования, полнее определить его роль и место в естественной динамике ландшафта.

В пределах каждого ландшафта заложены профили, охватывающие все элементарные формы рельефа и максимально большее разнообразие типов полугидроморфного и гидроморфного биогеоценотического покрова. На профилях выполнено инструментальное нивелирование поверхности, подробно описаны индивидуальные биогеоценозы (БГЦ), включая лесотаксационную, геоботаническую, почвенную характеристику (выполнено В. Д. Константиновым), зондирование и ботанический анализ торфяных залежей, режимные наблюдения за сезонной динамикой уровня заболачивающих вод.

Многолетние наблюдения за урванным режимом гравитационной воды в почвах позволили более объективно обосновать выявляемые на снимках экологические категории БГЦ по степени выраженности в них болотообразовательного процесса. Ландшафтные профили, выполненные в графической форме, наглядно отражают орографическое устрой-

ство поверхности, в доступной форме позволяют прослеживать и анализировать различные признаки почвенно-растительного покрова, сопоставлять наземные материалы с дистанционными и выполнять соответствующую интерпретацию последних. Повторность однохарактерных БГЦ, необходимая для их типизации, обеспечена дополнительными (к основным профилям) рекогносцировочными маршрутами и точечными ключами. Внутрорегиональная экстраполяция ключевых материалов выполнялась на ландшафтных принципах, более широкая экстраполяция общегеографического плана — с учетом зонально-климатических закономерностей.

Основные результаты исследований.

Дешифрирование снимков. 1. Основные индикационные свойства аэрофотоснимков. Материалы этого уровня проанализированы в диапазоне масштабов от 1 : 5000 до 1 : 140 000. Аэрофотосъемка отражает в основном строение и структуру растительного покрова, связанную с морфологией, размещением отдельных растений или их групп, фиксируемых текстурой изображения [Виноградов, 1966]. И лишь на высотных снимках, приближающихся по информативности к космическим, выявляются элементы пространственного распределения болот и заболоченных лесов в связи с различными физико-географическими факторами.

В крупном и среднем аэрофотосъемочном масштабе лесоболотные экосистемы дешифрируются по биоморфе растительных доминантов и эдификаторов (древесные, кустарниковые, травяные, моховые), их систематической принадлежности (преимущественно на спектрзональных снимках), таксационным признакам древесного яруса (преимущественно на зимних снимках), плановому устройству микрорельефа (на открытых болотах), степени поверхностной обводненности, строению поверхностной гидрографической сети. К числу косвенно индицируемых относятся особенности экотопа.

По своим информативным свойствам аэрофотоснимки более всего пригодны для картографирования в крупном и среднем масштабе.

2. Основные индикационные свойства космоснимков. Космоснимки в силу более высокой интеграции изображения выявляют признаки биогеоценотического покрова, связанные преимущественно с его географическим размещением. Дешифрирование и тематическая интерпретация космоснимков выполняются преимущественно по структуре изображения, которая отражает растительные комплексы и сочетания растительных сообществ различной размерности [Виноградов, 1966]. Прямое диагностирование растительности осуществимо лишь в крупном космическом масштабе (около 1 : 200 000—1 : 500 000). На более мелкомасштабных изображениях, в особенности телевизионных, дешифрируются главным образом рельеф, его формы и структура [Востокова, 1980], видны границы растительных зон и подзон и другие крупные территориальные геоботанические рубежи [Виноградов, 1971]. Более подробная фитоценотическая интерпретация мелкомасштабных изображений осуществляется на базе ассоциативных признаков.

В среднем и мелком космическом масштабе хорошо отражаются общегеографические закономерности размещения заторфованных поверхностей. На зимних телевизионных снимках гидроморфные элементы западно-сибирских ландшафтов обладают повышенной «читаемостью», резко выделяясь светлым тоном изображения на фоне более темных залесенных суходолов. Исключительная фотофизиономичность болот в мелком масштабе облегчает диагностирование различных признаков болотообразования, прямо или косвенно отражаемых структурой заторфованных поверхностей. По этому признаку осуществляется предварительная дифференциация лесоболотного покрова на космоснимках.

Основное целевое назначение космических снимков — разномасштабное районирование территории и мелкомасштабное картографирование. Для целей картографирования на этом уровне более всего пригод-

ны классификации, построенные на хронологических принципах, поскольку дешифрованные контуры представляют собой, как правило, в разной степени сложные природные комплексы, по своему содержанию не сопоставимые с таксонами традиционных типологических классификаций.

Дистанционная индикация и картографирование лесоболотного покрова по признаку гидроморфности. Характер и степень выраженности болотообразования, как известно, тесно сопряжены с режимом гравитационной воды в корнеобитаемых горизонтах почвы. Влажность почв регистрируется многими видами дистанционных съемок [Андроников, 1976; Виноградов, 1976; Сеницын, Сухих, 1979], каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Одно из важнейших достоинств фотографической съемки в сравнении с другими видами — высокая разрешающая способность.

Индикация режима гидроморфности на снимках осуществляется косвенно, через растительность. Установлено, что эколого-фитоценотические признаки растительного покрова в интегрированном виде отражают гидрологические условия экотопа — интенсивность и длительность затопления корнеобитаемых горизонтов почвы, пульсацию уровня заболачивающих вод в течение вегетационного периода.

Многолетние наблюдения за сезонным режимом уровня гравитационных вод в наиболее характерных типах суходольных и заболоченных лесов, на болотах ключевого экспериментального участка организованы и выполнены В. Д. Константиновым [Горожанкина, Константинов, 1983]. Для этих целей организована широкая сеть смотровых колодцев в разных типах природных ландшафтов, различающихся гипсометрическим положением, характером поверхностного расчленения, почвообразующими породами, условиями микроклимата, почвенно-растительным покровом. Регистрация уровней воды проводилась в течение всего вегетационного периода, начиная с фазы интенсивного разрушения снегового покрова и до глубокой осени. Общая продолжительность наблюдений 8 лет. По результатам сезона для каждого наблюденного колодца построены графики хода уровня воды. Последующий анализ выполнен методом сопоставления индивидуальных графиков, их группировки и усреднения. На основе этого произведена экологическая типизация БГЦ по признакам сходства и различий уровня режима вод. После эталонизации дешифровочных признаков БГЦ, отнесенных к разным экологическим группам, выполняется дешифрирование аэрокосмических изображений лесоболотных экосистем по признакам их гидроморфности.

Установлены следующие экологические категории БГЦ, различающиеся по степени выраженности лесо- и болотообразовательного процессов. В перечисленной последовательности они составляют обобщенный ряд заболоченности: леса — 1) сухие, 2) свежие, 3) влажные, 4) мокрые пойменные, 5) слабо заболоченные, 6) умеренно заболоченные, 7) сильно заболоченные, 8) болотные; болота — 9) крупнодревесные, 10) мелкодревесные, 11) безлесные грядовые, 12) безлесные бугорковые, 13) безлесные гомогенные (без выраженного микрорельефа). Эколого-фитоценотические, лесотаксационные и дешифровочные признаки этих категорий подробно охарактеризованы ранее [Горожанкина, 1981; Горожанкина, Константинов, 1983].

Самые высокие уровни почвенно-грунтовых вод на протяжении всего теплого периода наблюдаются на открытых болотах (рис. 1). Древесные болота отличаются периодами более низкого опускания уровня заболачивающих вод. Болотные леса по уровенному режиму близки к ним. Заболоченные леса характеризуются в целом более низким положением и значительными колебаниями уровня в течение вегетационного периода, что обеспечивает относительно стабильное существование древесной растительности. Сухие, свежие и влажные леса в течение большей части имеют зеркало гравитационной воды за пределами корненасыщенных горизонтов почвы. Исключение составляют лишь влажные леса на

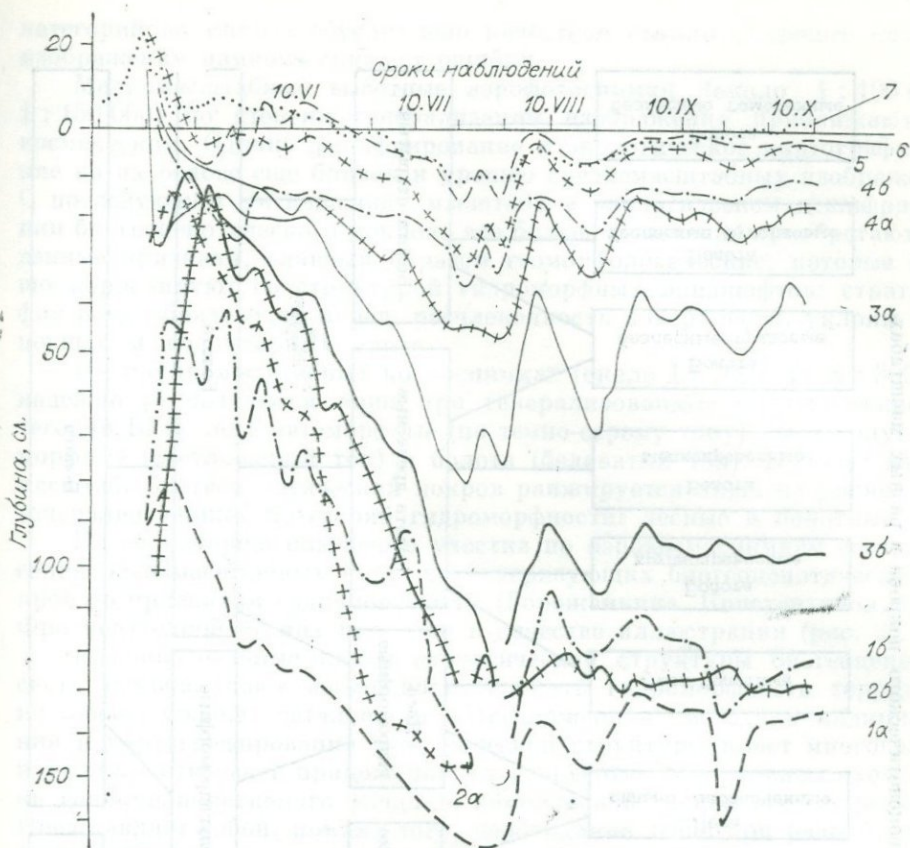


Рис. 1. Характеристика уровня режима гравитационной воды по основным экологическим категориям биогеоценозов (за 1979 г., средний по условиям влагообеспеченности).

1—5 — леса (а — на песках, б — на суглинках): 1 — сухие, 2 — свежие, 3 — влажные (на связанных песках), 4 — умеренно заболоченные, 5 — болотные; 6, 7 — болота: 6 — древесные, 7 — безлесные гомогенные.

связных песках, которые по своему уровенному режиму занимают промежуточное положение между автоморфными и полугидроморфными лесными БГЦ.

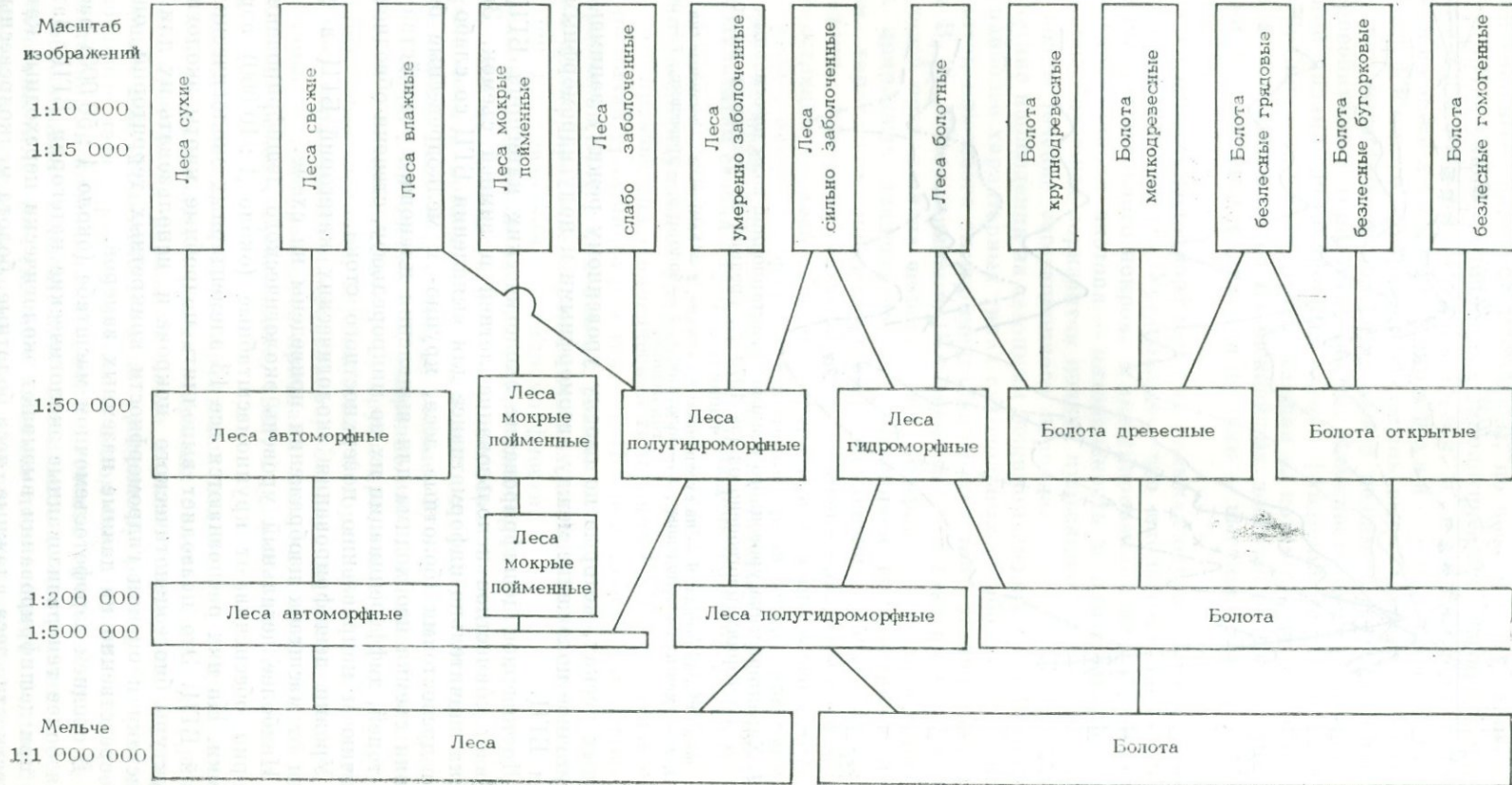
Достоверное дешифрирование экологических категорий БГЦ обеспечивает совместное использование летней и зимней съемок. Зимняя съемка значительно информативнее для выявления БГЦ со слабо развитыми древостоями (болотные леса, крупно- и мелкодревесные болота). Летняя съемка необходима для выявления планового устройства болотных топей, дифференциации их по микрорельефу, степени обводненности, наличию и направлению поверхностного стока.

Уровни дешифрирования экологических категорий БГЦ в зависимости от масштаба изображения приведены на схеме.

Наиболее детальный уровень экологического дешифрирования территории обеспечивают крупномасштабные (около 1 : 10 000) аэрофотоснимки. На них распознаются все 13 элементарных экологических категорий БГЦ. Это позволяет выполнять подробные карты экологической структуры биогеоценозического покрова и использовать их для характеристики и оценки гидроморфности конкретных территорий, опираясь непосредственно на данные наземных замеров.

В среднем аэрофотосъемочном масштабе (около 1 : 50 000) распознаются более генерализованные экологические категории БГЦ. Затруднения при дешифрировании вызывают экологически переходные категории (в частности, леса влажные, леса болотные, болота мелкодревесные). Неоднозначное их дешифрирование в пределах смежных генерализованных

Уровни выявления экологической структуры биогеоценотического покрова в разных масштабах



категорий во многом обусловлено качеством съемки. Хорошее качество изображения намного снижает ошибки.

Мелкомасштабные высотные аэрофотоснимки (около 1 : 100 000—1 : 150 000) по степени генерализации изображения приближаются к космическим. Однако дешифрирование и экологическое картографирование на их основе еще близки к уровню среднемасштабных изображений. С последующим уменьшением масштаба в экологическом дешифрировании биогеоценотического покрова все большее значение приобретают косвенные признаки, главным образом геоморфологические, которые хорошо коррелируют со структурой гидроморфных ландшафтов: стратиграфия почвообразующих пород, расчлененность поверхности, уклоны водонесных и водоупорных слоев.

На крупномасштабных космоснимках (около 1 : 200 000—1 : 300 000) надежно распознаются лишь три генерализованные экологические категории БГЦ: леса автоморфные (по темно-серому тону), леса полугидроморфные (светло-серый тон) и болота (беловатый тон). В более мелком масштабе биогеоценотический покров ранжируется лишь на уровне двух генерализованных категорий гидроморфности: лесные и болотные БГЦ.

На территорию ключевого участка по аэрокосмоснимкам составлена серия разномасштабных карт, характеризующих биогеоценотический покров по признакам гидроморфности [Горожанкина, Константинов, 1983]. Фрагмент одной из них приведен в качестве иллюстрации (рис. 2).

Разномасштабные карты экологической структуры биогеоценотического покрова дают возможность оценить гидроморфность территории на любом уровне детальности. Предложенная методика индцирования и картографирования экологической структуры имеет многоцелевое научно-практическое приложение: от разработки генеральных схем оценки гидромелиоративного фонда до комплексной оценки лесных ресурсов. Представляет собой, помимо того, необходимое звено при разработке нефотографических методов дистанционной регистрации и оперативного слежения за увлажненностью закрытых (залесенных) таежных территорий.

Классификация лесных и болотных БГЦ для целей картографирования на дистанционной основе. Важнейшими требованиями классификационных построений для целей картографирования на дистанционной основе являются следующие: 1) типизация БГЦ должна максимально учитывать их индикационные признаки, обеспечивающие визуальное распознавание классификационных таксонов на снимках; 2) иерархическая соподчиненность таксонов разного ранга должна быть приведена в соответствие с уровнями оптической генерализации изображений биогеоценотического покрова на снимках последовательно меняющегося масштаба. С учетом этих требований по материалам наземных обследований разработана классификация лесных и болотных БГЦ, основанная на принципах двухмерной ординации по признакам увлажненности и трофности [Горожанкина, 1981].

За композиционную основу классификационной схемы (рис. 3) принят естественный экологический ряд заболоченности. В целом классификация имеет вид вложенных ячеек, соответствующих таксонам разного ранга. В горизонтальном направлении слева направо таксоны расположены в порядке возрастания признаков заболоченности в почвах и растительном покрове. По вертикали сверху вниз — в порядке возрастающей обеспеченности минеральным питанием. Расположение таксонов дано на фоне наиболее важных факторов внешней среды. Для наименования классификационных подразделений принята система единиц по В. Н. Сукачеву [1972]. Элементарный таксон — тип БГЦ. Последующее укрупнение единиц выполняется по признаку эколого-фитоценотического сходства соответственно тому, как на аэрофотокосмических изображениях происходит последовательная оптическая генерализация экологически близких между собой БГЦ в ряду мельчающего масштаба. Типы БГЦ объединяются в подгруппы, далее группы, подклассы и классы типов.

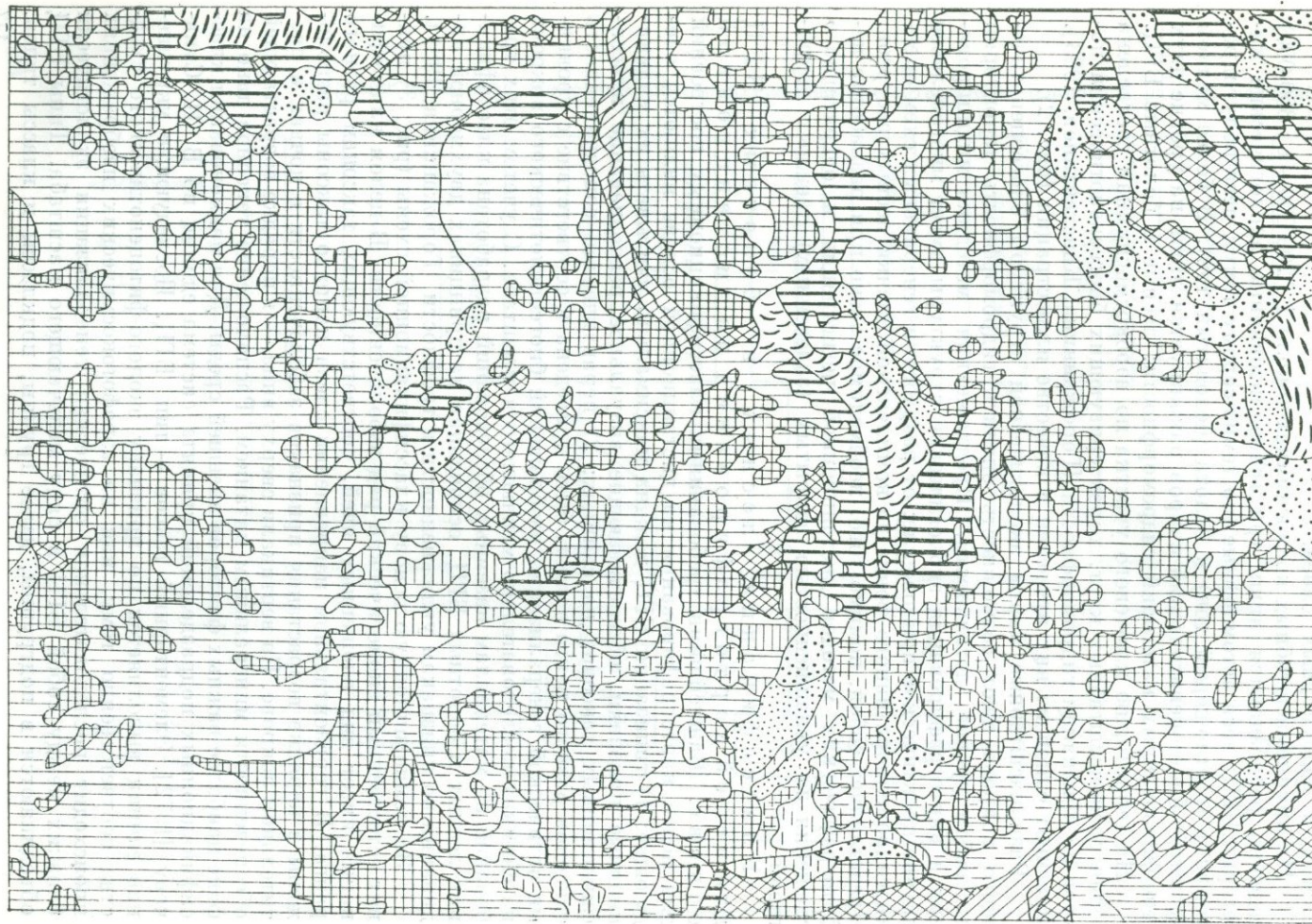
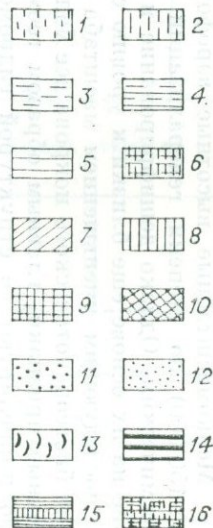


Рис. 2. Экологическая структура биогеоценотического покрова ключевого участка, выявленная по аэрофотоснимкам.

1-10 — леса: 1 — сухие на песках, 2 — свежие на песках, 3 — свежие на суглинках, 4 — влажные на связных песках, 5 — влажные на суглинках, 6 — умеренно заболоченные на песках, 7 — мокрые пойменные, 8 — слабо заболоченные на суглинках, 9 — сильно заболоченные на суглинках, 10 — болотные; 11-14 — болота: 11 — крупнодревесные, 12 — мелкодревесные, 13 — безлесные грядовые, 14 — безлесные гомогенные; 15, 16 — комплексы: 15 — лесов влажных и слабо заболоченных на суглинках, 16 — лесов свежих и умеренно заболоченных на песках.



| Литолого-геоморфологические условия залегания | | Лесные биогеоценозы | | | | | Болотные биогеоценозы | | | | |
|---|---|---------------------|--------|---------|------------------|----------|-----------------------|-----------------|-----------|--------------------|------------|
| | | аэтоморфные | | | полугидроморфные | | древесные | | безлесные | | |
| | | сухие | свежие | влажные | заболоченные | болотные | крупно-древесные | мелко-древесные | грядовые | бугорково-вогнутые | гомогенные |
| Террасы и водоразделы песчаные | Пески глубокие крупно- и средне-зернистые | ● | --- | — | --- | — | ● | --- | — | --- | — |
| | Пески тонкослоистые мелкозернистые | ● | --- | — | --- | — | ● | --- | — | --- | — |
| | Пески слоистые (двучленные) | ● | --- | — | --- | — | ● | --- | — | --- | — |
| | Супеси и пески глинистые | ● | --- | — | --- | — | ● | --- | — | --- | — |
| Террасы и водоразделы суглинистые | Суглинки средние | ● | --- | — | --- | — | ● | --- | — | --- | — |
| | Суглинки тяжёлые и глины | ● | --- | — | --- | — | ● | --- | — | --- | — |
| Долины мелких водотоков | Суглинки переложённые | ● | --- | — | --- | — | ● | --- | — | --- | — |
| Поймы высокого уровня | Суглинки мелкие на аллювиц | ● | --- | — | --- | — | ● | --- | — | --- | — |
| Поймы низкого уровня | Суглинки, пески илстые, илы пойменные | ● | --- | — | --- | — | ● | --- | — | --- | — |

● 1 --- 2 — 3 --- 4 — 5

Рис. 3. Схема построения классификации.

1 — типы биогеоценозов; 2 — объединения биогеоценозов; 2' — подгруппы, 3 — в группы, 4 — в подклассы, 5 — в классы типов.

Индивидуальные типы БГЦ рассмотрены по совокупности наиболее физиономичных, поддающихся непосредственному учету и измерению признаков, включая геоботаническую и лесотаксационную характеристику растительности, почвы, стратиграфию и мощность подстилающей торфяной залежи, основные признаки биогеоценозотопы: почвообразующие породы, характер и степень увлажнения почв (для наиболее широко распространенных типов, кроме того, сезонную динамику уровня режима заболачивающих вод), гипсометрическое положение, экспозицию и крутизну местоположения. Ядро элементарного таксона составляют коренные БГЦ, признаки которых наиболее полно соответствуют особенностям занимаемого биогеоценозотопы. Типологическая принадлежность нарушенных БГЦ определялась с учетом наиболее устойчивых признаков местоположения [Колесников, 1958].

Картографирование лесоболотного покрова на дистанционной основе. Уровень картографирования в первую очередь определяется масштабом изображения. Прямое выявление таксонов характеризованной выше классификации обеспечивают лишь аэрофотоматериалы, частично крупномасштабные снимки. В более мелком масштабе возможен лишь показ комплексности. Самые общие масштабы следующие:

Масштаб изображений

1 : 5000 — 1 : 10 000
 1 : 10 000 — 1 : 50 000
 1 : 50 000 — 1 : 100 000
 1 : 100 000 — 1 : 300 000
 Мельче 1 : 300 000

Картографируемые таксоны

Типы, подгруппы БГЦ и их комплексы
 Подгруппы, группы БГЦ и их комплексы
 Группы, подклассы БГЦ и их комплексы
 Подклассы, классы БГЦ и их комплексы
 Классы БГЦ и их комплексы

Картографирование с помощью аэрокосмоснимков, как правило, не удается выполнять на одном таксономическом уровне, поскольку БГЦ обладают неодинаковыми индикационными признаками. Имеется целая группа БГЦ, исключительно яркофизиономичных (например, лищайниковые боры, олиготрофные грядово-мочажинные болотные комплексы),

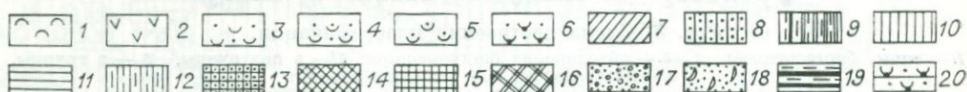
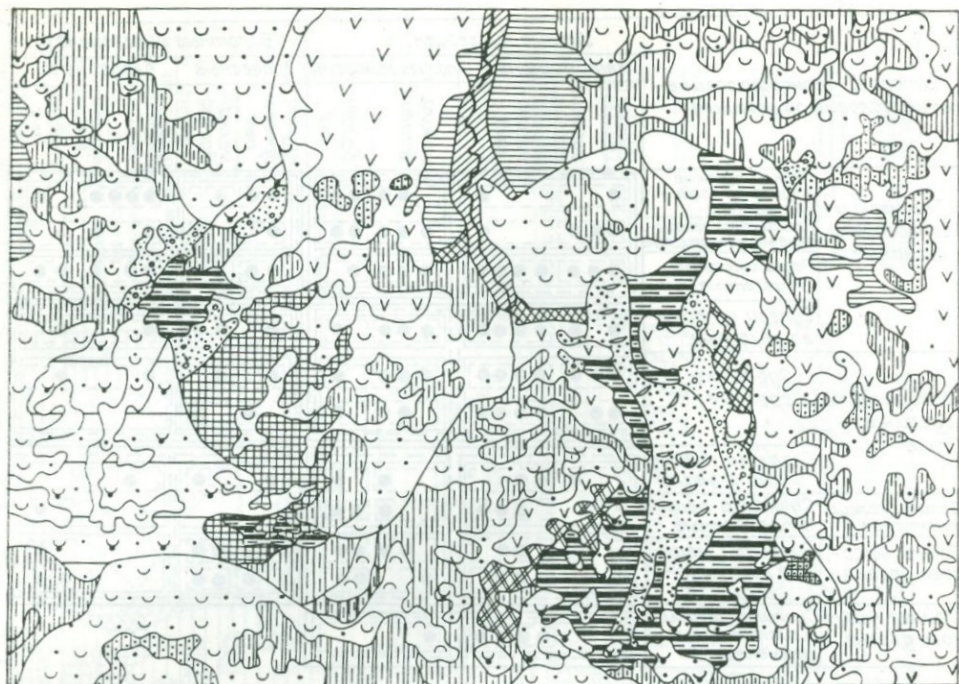


Рис. 4. Лесоболотный покров ключевого участка, картографируемый по аэрофото- снимкам.

1—19 — типы биogeocoенозов: 1 — сосняк темнохвойной ягодниково-зеленомошный свежий, 2 — осинник темнохвойно-березовый веиниковый влажный, 3 — кедровник еловый веиниково-хвошево-зеленомошный влажный, 4 — кедровник березовый чернично-хвошево-долгомошный влажный, 5 — кедровник сосново-лиственный веиниково-чернично-зеленомошный влажный, 6 — кедровник березовый чернично-хвошево-долгомошно-сфагновый слабо заболоченный, 7 — кедровник еловый кустарниково-веиниковый мокрый, 8 — кедровник березовый хвошево-сфагновый умеренно заболоченный, 9 — сосняк кедровый осоково-чернично-сфагновый умеренно заболоченный, 10 — кедровник березовый веиниково-сфагновый сильно заболоченный, 11 — кедровник березовый травяноболотно-сфагновый сильно заболоченный, 12 — кедровник сосновый чернично-осоково-сфагновый сильно заболоченный, 13 — кедровник березовый крупноосоково-сфагновый болотный, 14 — кедровник сосновый вахтово-сфагновый болотный, 15 — сосняк кедровый осоково-сфагновый болотный, 16 — сосняк кедровый осоково-пушицево-сфагновый болотный, 17 — мелкососновый ям осоково-клюквенно-сфагновый мезотрофный, 18 — топь грядовая вахтово-осоково-сфагновая мезотрофная; 19 — топь гомогенная осоково-сфагновая мезотрофная; 20 — комплексы кедровника березового чернично-хвошево-долгомошно-сфагнового слабо заболоченного с кедровником березовым чернично-хвошево-долгомошным влажным.

распознаваемых в очень широком диапазоне масштабов. И наоборот, существуют нефотофизиономичные БГЦ, дешифрируемые в узких пределах масштабов. Поэтому легенда карты, составленной на дистанционной основе, обычно содержит таксоны разного ранга.

Картографирование на уровне элементарных таксонов — типов БГЦ — выполнимо лишь для очень небольших по площади территорий в связи с ограниченными возможностями экстраполяции. Близкие типы БГЦ, как правило, обладают сходными признаками изображения и могут быть надежно диагностированы при условии практически поконтурного наземного обследования. Поэтому наиболее приемлемой единицей крупномасштабного картографирования следует признать подгруппу БГЦ.

На территорию экспериментального ключевого участка с помощью аэрокосмосъемки нами выполнена серия лесоболотных карт последовательно меняющегося масштаба, фрагменты их приведены на рис. 4—6. Легенды карт выполнены по матричному типу и дают наглядное представление о взаимном расположении и соотношении картируемых единиц, о связи их с важнейшими факторами среды: положением в рельефе, механическим составом почвообразующих пород, характером и степенью грун-

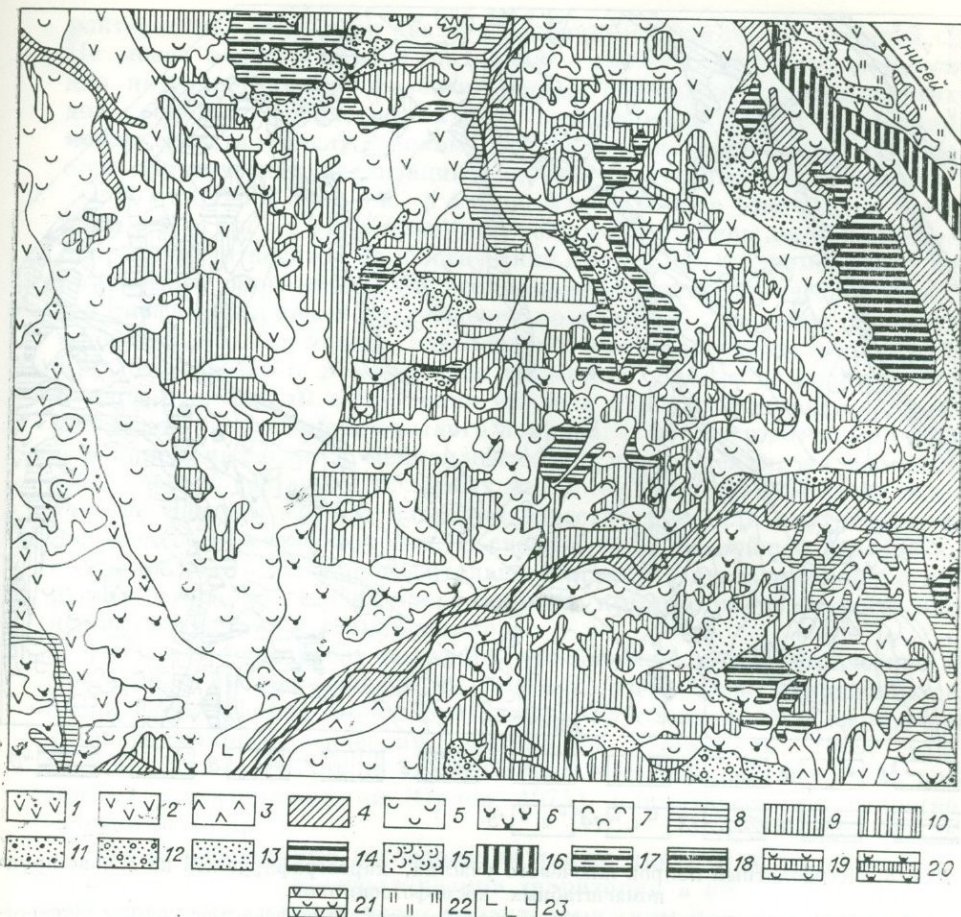


Рис. 5. Лесоболотный покров ключевого участка, картографируемый по аэрофотоснимкам.

1—4 — подгруппы биогеоценозов: 1 — леса темнохвойно-мелколиственные крупнотравные влажные, 2 — леса темнохвойно-мелколиственные разнотравные влажные, 3 — сосняки простые кустарничково-зеленомошные свежие, 4 — кедровники еловые травяно-болотно-кустарничковые мокрые; 5—18 — группы биогеоценозов: 5 — кедровники еловые травяно-зеленомошные автоморфные, 6 — кедровники мелколиственные кустарничково-травяно-зеленомошные автоморфные, 7 — сосняки сложные кустарничково-зеленомошные автоморфные, 8 — кедровники елово-березовые травяно-болотно-сфагновые полугидроморфные, 9 — кедровники сосново-березовые кустарничково-травяно-сфагновые полугидроморфные, 10 — сосняки кедровые травяно-кустарничково-сфагновые полугидроморфные, 11 — болота мелколиственно-темнохвойные травяно-сфагновые евтрофные, 12 — болота кедрово-березово-сосновые травяно-сфагновые мезотрофные, 13 — болота сосновые кустарничково-сфагновые мезо-олиготрофные, 14 — топи грядовые сфагново-гишновые евтрофные, 15 — топи грядовые травяно-сфагновые мезотрофные, 16 — топи однородные травяные евтрофные, 17 — топи однородные травяно-сфагновые мезотрофные, 18 — топи однородные травяно-сфагновые мезо-олиготрофные; 19—21 — комплексы: 19 — еловых кедровников травяно-зеленомошных автоморфных и кедровников березовых кустарничково-травяно-сфагновых полугидроморфных, 20 — кедровников темнохвойно-мелколиственных кустарничково-травяно-зеленомошных автоморфных и кедровников березовых кустарничково-травяно-сфагновых полугидроморфных, 21 — лесов темнохвойно-мелколиственных разнотравных влажных и кедровников еловых травяно-зеленомошных автоморфных; 22 — сельхозугодья; 23 — вырубки.

тового увлажнения. Принятое для серии карт последовательное уменьшение масштаба отражает основные этапы укрупнения типологических таксонов классификации.

Крупномасштабная карта лесоболотного покрова долины Енисея и прилегающих участков водоразделов подчиненного порядка, выполненная на основе крупномасштабных (около 1 : 15 000) спектрзональных аэрофотоснимков (рис. 4), отражает элементарную структуру на уровне типов БГЦ в связи с индивидуальными формами микрорельефа и литолого-стратиграфией.

Среднемасштабная карта на ту же территорию (рис. 5), выполненная на основе зимних черно-белых аэрофотоснимков масштаба около 1 : 45 000, отражает структуру лесоболотного покрова на уровне групп,

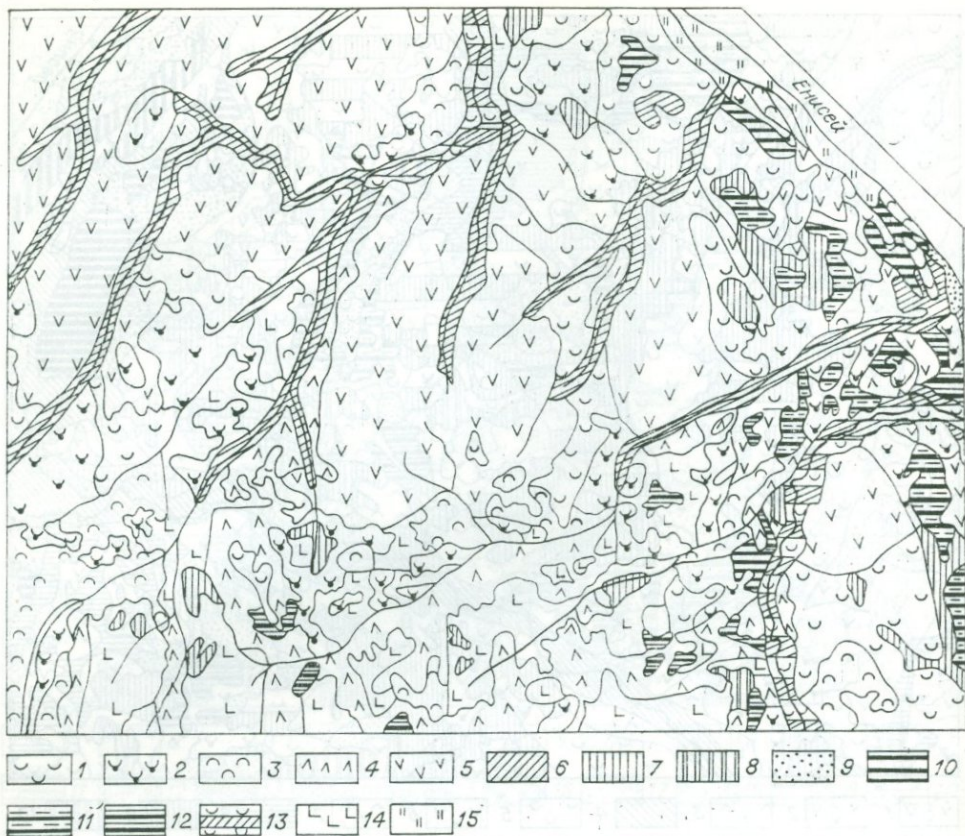


Рис. 6. Лесоболотный покров ключевого участка, картографируемый на основе крупномасштабных космодатоснимков.

1—4 — группы биогееоценозов: 1 — тайга темнохвойно-кедровая травяно-зеленомошная автоморфная, 2 — кедровники мелколиственные кустарничково-травяно-зеленомошные автоморфные, 3 — сосняки сложные кустарничково-зеленомошные автоморфные, 4 — сосняки простые лишайниково-зеленомошные автоморфные; 5—8 — подклассы биогееоценозов: 5 — леса темнохвойно-мелколиственные травяные автоморфные, 6 — тайга темнохвойно-еловая сфагново-травяная полугидроморфная, 7 — тайга темнохвойно-мелколиственно-кедровая травяно-сфагновая полугидроморфная, 8 — сосняки кустарничково-сфагновые полугидроморфные; 9—12 — классы биогееоценозов: 9 — кустарники поймаевые травяные, 10 — топи древесно-травяные евтрофные, 11 — топи древесно-травяно-сфагновые св-мезотрофные, 12 — топи сосново-травяно-сфагновые мезо-олиготрофные; 13 — комплексы тайги темнохвойно-кедровая травяно-зеленомошная автоморфная и тайги темнохвойно-еловой сфагново-травяной полугидроморфной; 14 — вырубки сосновые; 15 — сельхозугодья.

частично подгрупп, БГЦ в связи с индивидуальными элементами мезорельефа и литолого-стратиграфией почвообразующих пород. Данный масштаб является оптимальным для подробной лесоболотоведческой характеристики территорий, по размерам отвечающих элементарным геоморфологическим поверхностям (в ранге речной террасы).

Карта участка Кас-Енисейского междуречья (включая долину Енисея) выполнена на основе крупномасштабных (около 1 : 200 000) черно-белых и спектрзональных космоснимков. Лесоболотный покров показан на уровне классов и подклассов, частично групп БГЦ (рис. 6). Работа со снимками этого масштаба в процессе создания карты показала их хорошие обзорные возможности, сочетающиеся с высокой степенью разрешающей способности изображения. Это позволяет на довольно детальном уровне характеризовать и анализировать одновременно несколько природных ландшафтов, т. е. вплотную подойти к вопросам разработки детального лесоболотного районирования территории.

Серия лесоболотных карт имеет многоцелевое назначение и может быть использована для ландшафтных, лесотипологических, лесоведческих, лесохозяйственных, ресурсоведческих, гидрологических, пирологических, почвенных и прочих исследований, для составления на ее основе тематических отраслевых карт с применением многосторонней ха-

рактические БГЦ и их связи с различными факторами внешней среды. Не менее важное назначение серии — служить кондиционной основой для интерпретации и обработки нефотографических дистанционных видов съемок. Лесоболотные карты, выполненные по аэрокосмоснимкам, можно отнести к числу основных документов, на основе которых выполняется практическая реализация гидромелиоративных мероприятий.

Лесоболотное районирование на дистанционной основе. К числу важнейших критериев лесоболотного районирования относятся типологический состав полугидроморфного и гидроморфного биогеоценотического покрова, стратиграфические особенности торфяных залежей, размещение по рельефу, удельное соотношение площадей по категориям заболоченности, заболоченность поверхности в целом, генезис и динамические тенденции болотообразования. Дистанционные материалы в состоянии выявить лишь внешне выраженные статические признаки лесоболотного покрова. К тому же для целей районирования привлекаются мелкомасштабные изображения, на которых типологический состав лесоболотных экосистем устанавливается на высоком таксономическом уровне, зачастую недостаточном для внутрирегиональной дифференциации покрова. В связи с этим важнейшей задачей является определить и экспериментально обосновать дистанционно регистрируемые признаки лесоболотного покрова, которые могут служить надежными критериями районирования.

В целом ряде работ показано, что внешние морфометрические признаки болот, отражающиеся на снимках, очень тесно сопряжены с локальной спецификой болотообразования, обусловленной в свою очередь литолого-геоморфологическими факторами [Киришкин, 1969; Альтер, 1971; Галкина, 1981; и др.], мерзлотными [Войцеховская, 1983], эрозийными и тектоническими [Орлов, 1975], климатическими, гидрогеологическими и пр.

Наши собственные исследования также привели к заключению, что местные особенности заболачивания территории в интегрированном виде отражаются на снимках через характерные типы плановых структур болотного покрова, различающихся формой и размерами индивидуальных очагов заболоченности, их взаимным расположением, размещением по рельефу, удельным соотношением суходольных и заторфованных площадей. В границах каждой индивидуальной структуры прослеживаются однохарактерные статические, генетические и динамические признаки лесоболотных комплексов. Таким образом, дистанционно выявляемые типы болотных структур наряду с наземно установленными закономерностями болотообразования могут быть отнесены к числу важнейших критериев районирования на всех его уровнях. В связи с этим важнейший этап обработки дистанционных материалов для целей районирования — выявление и типизация характерных болотных структур. Их границы впоследствии служат основой для нанесения рубежей выделов районирования.

В соответствии с масштабом нами принята следующая градация болотных структур: мегаструктуры (выявляются на обзорных космоснимках), макроструктуры (на мелкомасштабных космоснимках), мезоструктуры (на космоснимках среднего масштаба), микроструктуры, территориально сопоставимые с болотными урочищами (на крупномасштабных космоснимках).

Нами рассмотрены три основных уровня лесоболотного расчленения территории Западной Сибири на дистанционной основе: обзорное и мелкомасштабное (соответственно с помощью космотелеснимков малого и среднего разрешения), детальное (с помощью средне- и крупномасштабных космофотоснимков). При обзорном и мелкомасштабном районировании тематическая интерпретация болотных структур выполнена с учетом наземно установленных зонально-климатических и региональных закономерностей распределения болотного покрова [Виноградова, 1956; Романова, 1976а, 1977; Лисс, Березина, 1981; Глебов, 1969; Пьявченко, 1963].

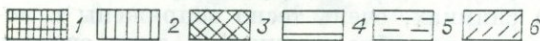
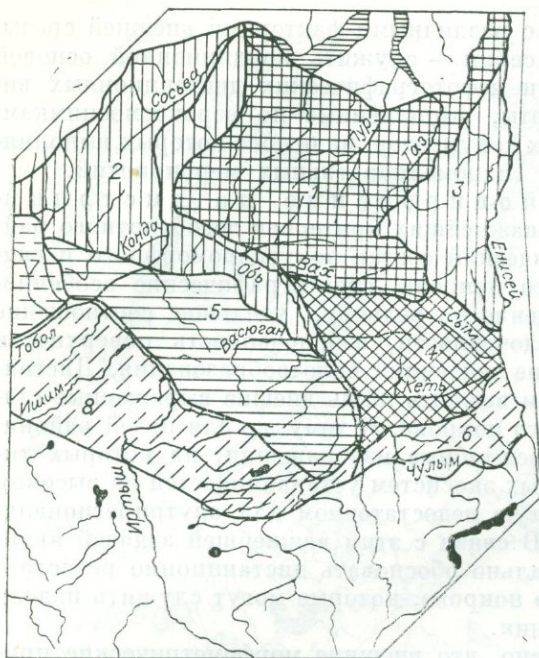


Рис. 7. Обзорное районирование болот Западной Сибири на основе космоснимков.

Штриховкой показаны географические ареалы болотных мегаструктур: 1 — плащевая, 2 — долинно-очаговая, 3 — древнеложбинная, 4 — перистая, 5 — междуручно-очаговая неупорядоченная, 6 — междуручно-очаговая ориентированная. Цифрами на рисунке обозначены болотные провинции: 1 — Обь-Тазовская бугристых и плосковыпуклых болот, 2 — Зауральская бугристых, плосковыпуклых и выпуклых олиготрофных болот, 3 — Приенейская крупнобугристых и выпуклых олиготрофных болот, 4 — Обь-Енисейская выпуклых олиготрофных болот, 5 — Обь-Иртышская выпуклых олиготрофных и плоских залеженных мезотрофных болот, 6 — Обь-Чулымская выпуклых олиготрофных и плоских залеженных мезотрофных болот, 7 — Тоболо-Исетская выпуклых олиготрофных, мезотрофных и евтрофных болот, 8 — Барабинская мезотрофных залеженных и низинных болот.

1. Обзорное районирование болот Западной Сибири выполнено на основе зимних телевизионных космоснимков, снятых с ИСЗ «Метеор-29» масштаба около 1 : 12 000 000. На этом уровне болотный покров равнины дифференцируется в виде восьми основных типов мегаструктур, различающихся общим характером распределения заторфованных поверхностей в связи с крупными геоморфологическими структурами. Сопоставление с наземными болотоведческими материалами показало, что выделенные на снимках мегаструктуры болот обладают, помимо того, специфическими зонально-климатическими, генетическими и динамическими признаками. Таким образом, в соответствии с географическими ареалами мегаструктур территории Западной Сибири может быть разделена на восемь крупных болотных регионов. Территориально они ближе всего соответствуют ботанико-географическим провинциям [Шумилова, 1962], вслед за чем мы именуем их болотными провинциями. Схема провинциального расчленения приведена на рис. 7.

2. Мелкомасштабное районирование болот Западной Сибири выполнено на основе зимних телевизионных космоснимков с ИСЗ «Метеор-30» в масштабе около 1 : 2 500 000. Болотный покров дифференцируется на уровне макроструктур соответственно крупным морфоскульптурам рельефа. Всего для равнины установлены 14 основных типов макроструктур, подробно охарактеризованных С. М. Горюжанкиной [1983а]. По географическим ареалам макроструктур на территории Западной Сибири установлены 44 болотных округа (рис. 8), различающихся типологическим составом болот, их геоморфологической приуроченностью, стратиграфическими особенностями залежей (по данным учета торфяного фонда), соотношением площадей суходолов и заторфованных поверхностей и пр. [Карта..., 1976; Романова, 1977]. Поскольку на этом уровне учитываются общегеографические признаки болотного покрова, практическое приложение схемы окружного районирования наиболее целесообразно для научного обоснования дифференцированного подхода к освоению гидромелиоративного фонда, определения общих объемов и направлений хозяйственных мероприятий по мелиорации.

3. Детальное болотное районирование занимает особо важное место в ряду ближайших задач болотоведческих исследований. На этом уровне

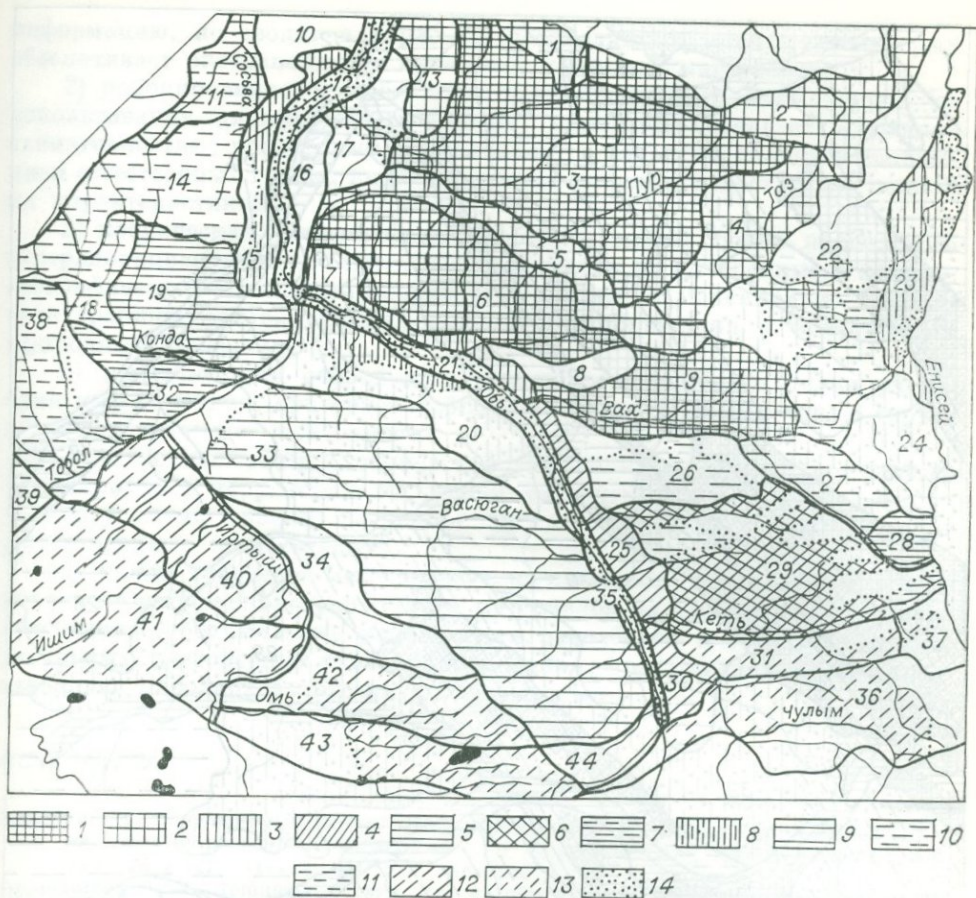


Рис. 8. Мелкомасштабное районирование болот Западной Сибири на основе космоснимков.

Штриховкой показаны географические ареалы болотных макроструктур: 1 — междуручно-плащевая с малой площадью суходолов, 2 — междуручно-плащевая с большой площадью суходолов, 3 — террасово-плащевая неупорядоченная, 4 — террасово-плащевая ориентированная, 5 — котловинно-плащевая, 6 — древнеложбинно-плащевая ориентированная, 7 — перисто-плащевая, 8 — террасово-перистая, 9 — междуручно-перистая, 10 — крупноочаговая неупорядоченная, 11 — мелкоочаговая неупорядоченная, 12 — крупноочаговая ориентированная, 13 — мелкоочаговая ориентированная, 14 — пойменно-очаговая. Цифрами на рисунке обозначены болотные округа.

дается подробная характеристика гидромелиоративного фонда, представляющая непосредственный практический интерес. Крупномасштабное районирование нами выполнено для бассейна р. Кас, включая Кас-Енисейское междуречье. Территория охватывает болотные округа, означенные на предшествующей схеме номерами 37, 29 и 31. В качестве основы использованы среднемасштабные (около 1 : 1 000 000) спектрзональные космофотоснимки, в целях уточнения — крупномасштабные (около 1 : 200 000).

В целом на охваченной территории выявлены 13 основных типов лесоболотных мезоструктур, связанных в своем распространении с геоморфологическими поверхностями в ранге речной террасы. Наземно-ключевые исследования этой территории [Глебов, Горожанкина, 1979; Горожанкина, 1983б] показали, что мезоструктуры различаются типологическим составом болот и заболоченных лесов, удельным соотношением их площадей, размещением по элементам мезорельефа, общей заболоченностью поверхности, стратиграфией торфяников, генезисом и современными динамическими тенденциями болотообразования. В соответствии с географическими ареалами мезоструктур выполнено детальное расчленение территории. Всего установлено 37 лесоболотных районов, характеризующихся индивидуальными природными свойствами гидромелиоративного фонда



Рис. 9. Детальное лесоболотное районирование ключевого участка на основе космодифотоснимков.

Штриховкой показаны географические ареалы болотных мезоструктур: 1 — пойменно-логовая неупорядоченная, 2 — пойменно-логовая ориентированная, 3 — автономно-мелкоочаговая, 4 — связноочаговая, 5 — истоково-мелкоочаговая неупорядоченная, 6 — истоково-мелкоочаговая ориентированная, 7 — истоково-крупноочаговая ориентированная, 8 — низкочайменно-мелкоочаговая, 9 — высокоочайменно-крупноочаговая, 10 — террасово-крупноочаговая, 11 — болотно-системно-очаговая, 12 — болотно-системно-плащевая неупорядоченная, 13 — болотно-системно-плащевая ориентированная; 14 — границы лесоболотных районов; 15 — границы подрайонов. Цифрами на рисунке обозначены лесоболотные районы.

в связи с локальной спецификой физико-географических условий. Схема порайонного расчленения является необходимым документом при разработке планов внутрирегиональных мелиораций (рис. 9).

Сравнительный анализ предложенных нами схем с вариантами того же уровня, выполненными традиционным методом, позволил определить место и роль дистанционных методов в решении задач болотного районирования:

1) использование аэрокосмической информации не исключает трудоемких наземных исследований, дающих исходную лесоболотоведческую

информацию, но сводит их объем к необходимому минимуму, который обеспечивает экстраполяцию ключевых наземных материалов;

2) районирование, в особенности мелкомасштабное, выполненное без использования дистанционных съемок, неизбежно страдает излишней схематичностью, чрезмерным огрублением, а зачастую сильным искажением естественных границ индивидуальных выделов, недостаточно полной их характеристикой;

3) космическая видеoinформация обеспечивает более правильную экстраполяцию точечных наземных материалов на однородные в физико-географическом отношении территории, позволяет максимально приблизить границы индивидуальных выделов районирования к естественным природным рубежам;

4) дистанционная основа дает возможность наиболее полно учесть один из важнейших критериев районирования — горизонтальную структуру подстилающей поверхности;

5) разномасштабные космические материалы обеспечивают прямое районирование территории на любом таксономическом уровне, минуя многоступенный процесс традиционной генерализации низших выделов расчленения в вышестоящие;

6) только сочетание методов наземно-ключевого контрольного обследования с широкой экстраполяцией материалов на дистанционной основе обеспечивает оптимальные условия для разработки и создания высокодетальных, достоверных схем районирования, представляющих непосредственную народнохозяйственную значимость.

ЛИТЕРАТУРА

- Альтер С. П. Ландшафтный метод геоморфологического дешифрирования аэроснимков на примере нижнего Прииртышья.— В кн.: Сибирский географический сборник. № 7. Л.: Наука, 1971, с. 143—195.
- Андроников В. Л. Дешифрирование почв и сельскохозяйственных культур по спектральному и мезозональному аэроснимкам.— В кн.: Исследование природной среды космическими средствами. М.: Наука, 1976, с. 147—155.
- Баррет Э., Куртис Л. Введение в космическое земледелие.— М.: Прогресс, 1979.— 368 с.
- Богомолов Л. Я. Оптическая генерализация и использование космических снимков для обновления мелкомасштабных карт (обзор проблемы).— В кн.: Аэрометоды в географии. М.: Наука, 1974, с. 24—26.
- Виноградов Б. В. Аэрометоды изучения растительности аридных зон.— М.— Л.: Наука, 1966.— 361 с.
- Виноградов Б. В. Мелкомасштабное геоботаническое районирование и картирование по космическим изображениям Земли.— В кн.: Геоботаническое картографирование, 1970. Л.: Наука, 1974, с. 3—19.
- Виноградов Б. В. Результаты комплексной интерпретации космических изображений.— В кн.: Исследование природной среды космическими средствами. М.: Наука, 1974, с. 11—21.
- Виноградов Б. В. Изучение состава и состояния растительности пастбищ и посевов сельскохозяйственных культур аэрокосмическими методами.— В кн.: Исследование природной среды космическими средствами. М.: Наука, 1976, с. 155—167.
- Виноградов Б. В., Константинов В. К. Аэрокосмический мониторинг болотных экосистем и их антропогенных модификаций.— В кн.: Антропогенные изменения, охрана растительности болот и прилегающих территорий. Минск: Наука и техника, 1981, с. 119—124.
- Виноградова Е. А. Геоморфологические типы торфяных месторождений.— В кн.: Торфяной фонд РСФСР. Сибирь, Дальний Восток. М.: Изд-во АН СССР, 1956, с. 97—114.
- Войцеховская И. В. Использование аэро- и космоснимков при составлении карты болот криолитозоны Западной Сибири.— В кн.: Дистанционное фотографирование и сканерные методы при гидрогеологическом и инженерно-геологическом картировании. (Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. семинара, Леселидзе). М.: Наука, 1983, с. 51—52.
- Востокова Е. А. Особенности дешифрирования современной растительности на космических снимках.— В кн.: Экология фитоценозов и их динамика. М.: изд. Московского фил. Геогр. о-ва СССР, 1980, с. 108—120.
- Галкина Е. А. Пути использования аэрофотосъемки в болотоведении.— Бот. журнал, 1953, т. 38, № 6, с. 893—901.

- Галкина Е. А. Болотные ландшафты Карелии и принципы их классификации.— В кн.: Торфяные болота Карелии. Петрозаводск, 1959, с. 3—48.
- Галкина Е. А. Особенности картирования растительного покрова болотных массивов (с применением материалов аэрофотосъемки).— В кн.: Принципы и методы геоботанического картографирования. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 121—130.
- Галкина Е. А. Методы использования аэрофотоснимков для типизации и картирования болотных массивов.— В кн.: Болота и заболоченные земли Карелии. Петрозаводск, 1964а, с. 5—24.
- Галкина Е. А. О геоморфологической классификации болот.— Там же, 1964б, с. 106—113.
- Галкина Е. А. Аэрометоды и их значение в развитии ландшафтного болотоведения.— В кн.: Доклады Комиссии аэросъемки и фотограмметрии. Вып. 6. Л.: изд. Геогр. о-ва СССР, 1969, с. 26—37.
- Галкина Е. А. Географические типы болотных массивов, природная среда и дистанционные методы исследования.— В кн.: Ландшафтная индикация и ее использование в народном хозяйстве. М.: Наука, 1981, с. 157—167.
- Глебов Ф. З. Болота и заболоченные леса лесной зоны енисейского левобережья.— М.: Наука, 1969.— 131 с.
- Глебов Ф. З., Горожанкина С. М. Влияние ландшафтной структуры на особенности болотообразования.— В кн.: Исследование таежных ландшафтов дистанционными методами. Новосибирск: Наука, 1979, с. 109—134.
- Глебов Ф. З., Калашников Е. Н. Опыт крупномасштабного ландшафтно-структурного картографирования заболоченной территории.— География и природные ресурсы, 1981, № 4, с. 141—148.
- Горожанкина С. М. Классификация биогеоценозов при дистанционном изучении биогеоценотического покрова на основе аэрокосмической съемки.— В кн.: Дистанционная индикация структуры таежных ландшафтов. Новосибирск: Наука, 1981, с. 72—98.
- Горожанкина С. М. Использование космических снимков при районировании структуры болотных массивов.— Исследование Земли из космоса, 1983а, № 3, с. 24—33.
- Горожанкина С. М. Детальное лесо-болотное районирование на основе аэрокосмических снимков.— География и природные ресурсы, 1983б, № 2, с. 132—144.
- Горожанкина С. М., Константинов В. Д. Растительный покров как дешифровочный признак гидроморфности ландшафта.— В кн.: Космические методы изучения природной среды Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1983, с. 63—74.
- Дмитриев И. Д., Белов С. В., Нефедов П. М. Использование материалов аэрофотосъемки для проектно-исследовательских работ по лесоосушительной мелиорации.— Л.: Гидрометеиздат, 1974.— 96 с.
- Елпатьевский М. М., Кирюшкин В. Н., Константинов В. К. Лесохозяйственное освоение болот.— М.: Лесная промышленность, 1978.— 135 с.
- Иванов К. Е. Основы гидрологии болот лесной зоны и расчет водного режима болотных массивов.— Л.: Гидрометеиздат, 1957.— 500 с.
- Карта растительности Западно-Сибирской равнины. М. 1 : 1 500 000/Под общ. рук. акад. В. Б. Сочава.— М., ГУГК, 1976.
- Киреев Д. М. Структура таежных ландшафтов и методы ее дистанционного изучения.— В кн.: Исследования таежных ландшафтов дистанционными методами. Новосибирск: Наука, 1979, с. 11—44.
- Кирюшкин В. Н. Болотные системы логов и их изображение на аэроснимках.— В кн.: Доклады Комиссии аэросъемки и фотограмметрии. Вып. 6. Л.: изд. Геогр. о-ва СССР, 1969, с. 13—22.
- Кирюшкин В. Н., Галкина Е. А. Дешифрирование аэрофотоснимков систем болотных урочищ.— В кн.: Применение аэрофотосъемки при изучении лесного и болотного мелиоративного фондов. М.: Наука, 1970, с. 56—61.
- Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И. Космическая съемка при исследовании природных ресурсов.— В кн.: Исследование природной среды дистанционными средствами. М.: Наука, 1976, с. 179—186.
- Колесников Б. П. О генетической классификации типов леса и задачах лесной типологии в восточных районах СССР.— Изв. СО АН СССР, 1958, № 4, с. 113—124.
- Котова Т. В., Кравцова В. И., Январева Л. Ф. Проблемы тематического картографирования и использование космических снимков.— В кн.: Аэрокосмические исследования Земли. М.: Наука, 1979, с. 32—41.
- Лисе О. Л., Березина Н. А. Болота Западно-Сибирской равнины.— М.: Изд-во МГУ, 1981.— 205 с.
- Нефедов П. М., Константинов В. К. Из опыта использования аэроснимков при осушении лесов.— В кн.: Доклады комиссии аэросъемки и фотограмметрии. Вып. 4. Л.: изд. Геогр. о-ва СССР, 1967, с. 133—135.
- Орлов В. И. Анализ динамики природных условий и ресурсов.— М.: Наука, 1975.— 276 с.
- Попова Т. А., Нефедов К. Е., Галкина Е. А. Систематизация дешифровочных признаков.— В кн.: Космические методы исследования природной среды. Л.: изд. Геогр. о-ва СССР, 1977, с. 75—119.

- Пьявченко Н. И. К изучению болот Красноярского края.— В кн.: Заболоченные леса и болота Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1963, с. 5—32.
- Романова Е. А. Геоботанические основы гидрологического изучения верховых болот с использованием аэрофотосъемки. Автореф. канд. дис.— Л., 1959.— 20 с.
- Романова Е. А. Методика составления типологических карт болот с использованием материалов аэрофотосъемки для гидрологического изучения болотных ландшафтов.— В кн.: Тематическое картографирование в СССР. Л.: Наука, 1967, с. 108—111.
- Романова Е. А. Дешифрирование аэрофотоснимков и составление крупномасштабных карт болот Западной Сибири.— В кн.: Крупномасштабное картографирование растительности. Новосибирск: Наука, 1970, с. 118—123.
- Романова Е. А. Общая характеристика болотных ландшафтов.— В кн.: Болота Западной Сибири. Л.: Гидрометеоиздат, 1976а, с. 19—46.
- Романова Е. А. Зональные типы болот. Карта-врезка к карте «Растительность Западно-Сибирской равнины» М 1 : 1 500 000.— М.: Изд-во ГУГК, 1976б.
- Романова Е. А. Типологическая карта болот Западно-Сибирской равнины. М 1 : 2 500 000. М.: Изд-во ГУГК, 1977.
- Сабо Е. Д. Гидролесомелиоративный фонд и перспективы его осушения.— В кн.: Лесоосушительная мелиорация. М.: Лесная промышленность, 1975, с. 42—48.
- Селезнева Н. С., Шуляк А. С. Использование телевизионных снимков, полученных с ИСЗ, для дешифрирования лесных и болотных комплексов лесо-болотной зоны Западной Сибири.— В кн.: Природа и природные ресурсы Тюменской области. (Тезисы докладов). Тюмень, 1973, с. 46—49.
- Синицын С. Г., Сухих В. И. Использование материалов многозональных и космических съемок в интересах лесного хозяйства.— В кн.: Аэрокосмические исследования Земли. М.: Наука, 1979, с. 86—101.
- Сукачев В. Н. Основные понятия лесной биогеоценологии.— В кн.: В. Н. Сукачев. Избранные труды. Т. 2. Л.: Наука, 1972, с. 311—356.
- Шумилова Л. В. Ботаническая география Сибири.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1962.— 439 с.
- Янушевский В. В. Использование материалов аэрофотосъемки при торфоразведочных работах.— В кн.: Природа болот и методы их исследований. Л.: Гидрометеоиздат, 1967, с. 278—281.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Предисловие | 3 |
| I раздел | |
| Дистанционные методы геологических исследований | |
| <i>Л. Н. Розанов, В. Я. Ероменко.</i> Отражение новейшей геодинамики платформенных областей СССР на снимках из космоса | 4 |
| <i>Д. М. Трофимов.</i> Об узлах пересечения разрывных дислокаций и их роли в строении земной коры | 9 |
| <i>Л. К. Зяцькова.</i> Методы структурно-геоморфологических исследований при поисках гипергенных полезных ископаемых Алтае-Саянской горной области | 13 |
| <i>В. И. Витязь, Ю. А. Жуковин, Л. Л. Кузнецов, В. Д. Накоряков, П. П. Скоробогатыч.</i> Дистанционная информация о региональных структурах Сибирской платформы | 17 |
| <i>П. М. Бондаренко, А. М. Боровиков, В. Н. Деметьев, [В. Е. Ковалевский], А. С. Лапухов, А. И. Прокопенко, А. А. Прусевич, В. П. Пяткин, М. Л. Шемякин.</i> Особенности структурной интерпретации разномасштабных и разноаспектных космоснимков различных районов Сибири и Дальнего Востока | 25 |
| <i>И. М. Агульник, Л. Ф. Гололобова, К. И. Микуленко, В. А. Милгев, Л. Г. Чугунов.</i> Опыт комплексного анализа космических снимков, геологических и геофизических материалов в условиях краевых депрессий Сибирской платформы | 34 |
| <i>Н. Л. Сапронов, В. М. Соболенко.</i> Опыт и результаты палеовулканологического картирования Южно-Тунгусской вулканической области на основе применения комплекса дистанционных методов исследований | 38 |
| <i>А. А. Растегин.</i> О возможности прогноза погребенных поднятий по космическим снимкам | 41 |
| <i>Л. Г. Чугунов, В. Н. Ольховик.</i> Анализ космических снимков по территории Вилуйской гемисинеклизы | 45 |
| <i>В. С. Старосельцев, Т. А. Дивина, М. И. Муратов.</i> Использование космических снимков при выделении палеоразрывов в условиях расчлененного рельефа | 48 |
| <i>А. С. Киренский, В. П. Корчагин, Р. Г. Кузьменко.</i> Опыт тектонического районирования с использованием космических снимков (на примере юга Восточной Сибири) | 54 |
| II раздел | |
| Дистанционные исследования новейшей тектоники и сейсмичности | |
| <i>Л. К. Зяцькова.</i> Дистанционные методы исследования активизации новейших тектонических движений юга Сибири и прилегающих территорий | 63 |
| <i>Я. М. Грицюк.</i> Новейшая тектоника и геодинамика западной части Алтае-Саянской горно-складчатой области | 73 |
| <i>И. П. Варламов, Н. Е. Найденова, И. С. Новосельцев, А. П. Хилько.</i> Новейшая тектоника (с использованием материалов дешифрирования космоснимков) и ее влияние на нефтегазоносность Непско-Ботуобинской антеклизы | 79 |
| <i>А. А. Никонов, И. А. Веселов.</i> Использование аэрокосмических материалов при сеймотектонических исследованиях в горных и равнинных районах Средней Азии | 85 |
| <i>В. И. Витязь.</i> Периодичность размещения сейсмоактивных структур и динамический прогноз крупных землетрясений | 92 |
| <i>Г. С. Гусев, В. С. Имаев, Л. П. Имаева, Б. М. Козьмин, Л. М. Парфенов.</i> Сейсмоактивные разломы Олекмо-Становой сейсмической зоны в районе Токнинского Становика (по результатам дешифрирования космических снимков) | 99 |

III раздел

Аппаратурно-автоматизированная обработка изображений

| | |
|---|-----|
| <i>В. А. Забелин, В. П. Пяткин.</i> Трансформация и совмещение изображений при решении прикладных задач геологии | 104 |
| <i>Б. В. Виноградов.</i> Аэрокосмический мониторинг многолетнего экологического тренда | 107 |
| <i>А. Е. Малыгин.</i> Геометрические преобразования цифровых изображений | 115 |
| <i>Ю. М. Пляшник, В. И. Харук, В. Г. Черепанов, Е. В. Федотова.</i> Автоматизированная система полигонных измерений спектральных параметров древесных насаждений | 117 |
| <i>О. Г. Шеремет, В. М. Моралев, Ю. С. Перфильев, В. Е. Гоникберг.</i> Опыт цифровой обработки линеаментных сетей для целей прогнозирования полезных ископаемых и структурно-тектонического районирования | 121 |
| <i>И. В. Антощенко-Оленев.</i> Выбор технологической схемы геологического дешифрирования для автоматизации | 128 |
| <i>Л. И. Морозова, О. М. Борисов.</i> Причинно-следственные связи взаимодействия литосферы с атмосферой | 132 |
| <i>В. А. Морозов, Н. Н. Язго, Н. В. Кузьмина.</i> Автоматизированная обработка изображений | 140 |
| <i>Г. А. Чернов.</i> К методике аппроксимации продольных профилей рек | 141 |
| <i>Н. К. Молотков.</i> Монтажно-аппликационный способ структурного анализа космических снимков | 144 |

IV раздел

Дистанционные методы ландшафтных исследований

| | |
|--|-----|
| <i>В. В. Фурьев.</i> Дистанционные методы оценки состояния и формирования таежных лесов после пожаров | 147 |
| <i>И. Н. Елагин.</i> Изучение сезонной динамики ландшафтов дистанционными методами | 159 |
| <i>С. М. Горожанкина.</i> Применение аэрокосмических материалов при лесоболото-ведческих исследованиях | 169 |

МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИРОДОВЕДЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Утверждено к печати
Институтом геологии и геофизики СО АН СССР

Редактор издательства *Е. С. Иванова*
Художественный редактор *М. Ф. Глазырина*
Технический редактор *Н. М. Бурлаченко*
Корректоры *О. А. Жмака, Н. Н. Крохотина*

ИБ № 29940

Сдано в набор 27.01.86. Подписано к печати 01.08.86. МН-02304. Формат 70×108¹/₁₆. Бумага офсетная. Обыкновенная гарнитура. Высокая печать. Усл. печ. л. 17,5+0,7 на мел. бум. Усл. кр.-отт. 18,6. Уч.-изд. л. 20. Тираж 1000 экз. Заказ № 19. Цена 3 руб.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука», Сибирское отделение, 630099, Новосибирск, 99, Советская, 18.
4-я типография издательства «Наука», 630077, Новосибирск, 77, Станиславского, 25.

**В СИБИРСКОМ ОТДЕЛЕНИИ
ИЗДАТЕЛЬСТВА «НАУКА»**

готовятся к выпуску следующие книги:

Грудинин М. И., Меньшагин Ю. В. Ультрабазит-базитовые ассоциации раннего докембрия.— 13 л.

В монографии рассмотрены положение и состав ультрабазит-базитовых комплексов Прибайкалья, где сочленяются структуры архейского фундамента Сибирской платформы и его складчатого обрамления. Выявлено, что в архейских кратонах ультраосновные породы образуют особый формационный тип ультрабазитов, представляющих собой часть зеленокаменных поясов, а массивы гипербазитов и габброидов входят в состав гипербазитовой и габброидной формации офиолитовых поясов.

Для геологов, петрографов, геохимиков.

Многоволновые сейсмические исследования.— 20 л.

В сборнике излагаются результаты исследований по теории, физическим основам, методике и техническому обеспечению многоволновой сейсморазведки, основанной на совместном использовании продольных, поперечных и обменных волн. При этом впервые охвачен весь диапазон применяемых при сейсмических исследованиях частот, включая изучение земной коры и мантии, сейсморазведку методами отраженных и преломленных волн и др. Большое внимание уделено опробованию разработанных методик, аппаратуры и технических средств при решении конкретных геологических задач, в первую очередь при поисках нефти и газа.

Для геофизиков, геологов-поисковиков.

Солоненко Н. В., Солоненко А. В. Афтершоковые последовательности и рои землетрясений в Байкальской рифтовой зоне.— 9 л.

Монография посвящена сравнительному анализу особенностей возникновения и проявления группируемых сейсмических событий в Байкальской рифтовой зоне. Исследовано пространственное распределение афтершоковых последовательностей и роев землетрясений, изучены закономерности высвобождения энергии в этих совокупностях сейсмических явлений. Показано принципиальное различие временных вариаций наклонов графиков повторяемости в афтершоковых последовательностях и роях. Проведен анализ механизма очагов сильных землетрясений, афтершоков и роевых толчков, оценены скорости и направления распространения разрывов в очагах и их линейная протяженность. Рассмотрен возможный механизм возникновения афтершоковых последовательностей и роев, объясняющий отмеченные закономерности их проявления.

Для геофизиков, сейсмологов, сейсмогеологов.

Тектоника центральной части Непского свода/
А. В. Малых, С. М. Замараев, Г. В. Рязанов, Н. К. Гелетий.— 8 л.

В монографии обобщены новые геолого-геофизические материалы центральной части Непского свода. Рассмотрены палеотектонические условия формирования соленосных отложений, постседиментационная тектоника различных уровней фанерозойского осадочного чехла и калиеносных горизонтов ангарской свиты раннего кембрия. Особое внимание уделено генезису, процессам и времени преобразования первично-осадочных карналлитов во вторичные сильвиниты.

Для геологов, геофизиков, гидрогеологов.

Для получения книг почтой
заказы просим направлять по адресам:

- 480091 **Алма-Ата**, ул. Фурманова, 91/97
370005 **Баку**, ул. Коммунистическая, 51
232600 **Вильнюс**, ул. Университета, 4
690088 **Владивосток**, Океанский проспект, 140
320093 **Днепропетровск**, проспект Гагарина, 24
734001 **Душанбе**, проспект Ленина, 95
375002 **Ереван**, ул. Туманяна, 31
664033 **Иркутск**, ул. Лермонтова, 289
420043 **Казань**, ул. Достоевского, 53
252030 **Киев**, ул. Ленина, 42
252142 **Киев**, проспект Вернадского, 79
252030 **Киев**, ул. Пирогова, 2
252030 **Киев**, ул. Пирогова, 4
277012 **Кишинев**, проспект Ленина, 148
343900 **Краматорск**, Донецкой обл., ул. Марата, 1
660049 **Красноярск**, проспект Мира, 84
443002 **Куйбышев**, проспект Ленина, 2
191104 **Ленинград**, Литейный проспект, 57
197345 **Ленинград**, Петрозаводская, 7
199164 **Ленинград**, Таможенный пер., 2
196034 **Ленинград**, В/О, 9 линия, 16
220012 **Минск**, Ленинский проспект, 72
103009 **Москва**, ул. Горького, 19 а
117312 **Москва**, ул. Вавилова, 55/7
117192 **Москва**, Мичуринский проспект, 12
630076 **Новосибирск**, Красный проспект, 51
630090 **Новосибирск**, Академгородок, Морской проспект, 22
142284 **Протвино**, Московской обл., ул. Победы, 8
142292 **Пушино**, Московской обл., МР «В», 1
620161 **Свердловск**, ул. Мамина-Сибиряка, 137
700029 **Ташкент**, ул. Ленина, 73
700070 **Ташкент**, ул. Шота Руставели, 43
700185 **Ташкент**, ул. Дружбы народов, 6
700000 **Ташкент**, ул. Ю. Фучика, 1
634050 **Томск**, наб. реки Ушайки, 18
634050 **Томск**, Академический проспект, 5
450059 **Уфа**, ул. Р. Зорге, 10
450025 **Уфа**, ул. Коммунистическая, 49
720001 **Фрунзе**, бульвар Дзержинского, 42
310078 **Харьков**, ул. Чернышевского, 87

Отражение новейшей геодинамики платформенных областей СССР на снимках из космоса. Розанов Л. Н., Ероменко В. Я. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.—Новосибирск: Наука, 1986.

Отображение динамики новейших тектонических движений земной коры на поверхности создает предпосылки для использования снимков из космоса для геодинамического дешифрирования. Выделено семь типов рисунка ТВ изображения, отвечающих различным геодинамическим режимам, и в соответствии с ними составлена схема районирования платформенных областей СССР по типам рисунка ТВ изображения. Такие построения предлагается использовать в качестве дополнительного критерия при выделении зон нефтегазоаккумуляции. Ил. 1, библиогр. 6.

УДК 551.1+551.4+629.783

Об узлах пересечения разрывных дислокаций и их роли в стрессии земной коры. Трофимов Д. М. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.—Новосибирск: Наука, 1986.

На основании дешифрирования космических снимков с целью изучения геологического строения земной коры характеризуются узлы пересечения разрывных нарушений. Ил. 3, библиогр. 7.

УДК 551.24.01+528.77.+629.78

Методы структурно-геоморфологических исследований при поисках гипергенных полезных ископаемых Алтае-Саянской горной области. Зятькова Л. К. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.—Новосибирск: Наука, 1986.

Дается классификация разрывных нарушений зоны сопряжения платформ и орогенов на основании дешифрирования телевизионных космических снимков. Ил. 3, библиогр. 11.

УДК 551.243.8:553(571.51)

Дистанционная информация о региональных структурах Сибирской платформы. Витязь В. И., Жуковин Ю. А., Кузнецов Л. Л., Накоряков В. Д., Скоробогатых П. П. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.—Новосибирск: Наука, 1986.

Количественный анализ системы тектонических элементов, фиксируемых на телеснимках региона и смежных областей, подтверждает важную роль крупных региональных структур (КРС) ранга 510—4000 км в размещении структурных подсистем и зон нефтегазоаккумуляции. Внутреннее строение КРС проявлено концентрическими, радиальными и субпараллельными элементами, совпадающими с границами трапповых полей, секущих интрузий основного и щелочно-ультраосновного состава, местоположением рудных районов и нефтегазоносных площадей. Здесь прогнозируется региональный субширотный пояс проницаемых, возможно нефтегазоносных, структур. Ил. 3, табл. 1, библиогр. 10.

УДК 77.047(201)+629.7

Особенности структурной интерпретации разномасштабных и разноаспектных космоснимков различных районов Сибири и Дальнего Востока. Бондаренко П. М., Боровиков А. М., Деметьев В. Н., Ковалевский В. Е., Лапухов А. С., Прокопенко А. И., Прусевич А. А., Пяткин В. П., Шемякин М. Л. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.—Новосибирск: Наука, 1986.

Рассматриваются различные подходы к обработке разномасштабных и разноаспектных космоснимков и особенности структурной интерпретации платформенных, орогенных областей Сибири и Дальнего Востока.

УДК 550.814:551.24(571.5)

Опыт комплексного анализа космических снимков, геологических и геофизических материалов в условиях краевых депрессий Сибирской платформы. Агульник И. М., Голодובה Л. Ф., Микуленко К. П., Михеев В. А., Чугунов Л. Г. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.—Новосибирск: Наука, 1986.

Отмечена различная сопоставимость карт и схем разных исследований, выполненных по результатам дешифрирования по космическим снимкам и геофизическим материалам в различных геотектонических условиях, что связывается с особенностями современной структуры и палеотектонического развития. Табл. 4, библиогр. 3.

УДК 551.21+551.24+528.77:550.814

Опыт и результаты палеовулканологического картирования Южно-Тунгусской вулканической области на основе применения комплекса дистанционных методов исследований. Сапронов Н. Л., Соболенко В. М. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.—Новосибирск: Наука, 1986.

Рассмотрены новые данные о распространенности и формах проявления мезозойского ультраосновного щелочного магматизма. Выявлены и охарактеризованы многочисленные вулканоструктуры центрального и линейного типов и вулканотектонические структуры позднепалеозойско-раннемезозойского эксплозивного базальтового вулканизма. Показано, что в характеризующей области широко развиты иньективные дислокации, расщиривка которых имеет первостепенное значение для понимания строения платформенного чехла и доисков полезных ископаемых.

УДК 550.814:551.24(571.5)

О возможности прогноза погребенных поднятий по космическим снимкам. Растигин А. А. Методы дистанционных исследований для решения природо-ведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

Рассмотрены результаты прогноза погребенных поднятий различных регионов СССР по кольцевым фотоаномалиям на космических снимках и существующие взгляды, объясняющие механизм отражения на них глубинных поднятий. Показано, что совпадение в плане погребенных поднятий II и III порядка с кольцевыми фотоаномалиями на космоснимках на юге Сибирской платформы, за редким исключением, является случайное. Поэтому использовать их в качестве одного из поисковых критериев плинквативных дислокаций осадочного чехла и фундамента нельзя. Для этих целей рекомендуется применять статистические методы анализа сети линейаментов. Из них наиболее перспективен анализ тренд-поверхностей. Библиогр. 12.

УДК 528.77(571.56)

Анализ космических снимков по территории Вилуйской гемисинеклизы. Чу-гунов Л. Г., Ольховик В. Н. Методы дистанционных исследований для решения природо-ведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

Изложена тектоническая интерпретация отдешифрированных по космическим фотоаномалиям снимков. Линейные элементы на территории Вилуйской гемисинеклизы в ряде случаев объединяются в зоны, имеющие секущую к современному структурному плану северо-западную ориентировку. Данные наземных геохимических работ, ландшафтно-геологических наблюдений, тектонофизического анализа позволяют предположить блоковую природу этих аномалий при сбросо-сдвиговых составляющих их перемещений, а также структурную связь с ними нефтегазоносных антиклинальных складок. Ил. 1, библиогр. 10.

УДК 550.814:551.24(571.5)

Использование космических снимков при выделении палеоразрывов в условиях расчлененного рельефа. Старосельцев В. С., Дивина Т. А., Муратов М. И. Методы дистанционных исследований для решения природо-ведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

На примере северо-западных районов Сибирской платформы показано, что использование даже мелкомасштабных телевизионных космоснимков регионов с резко расчлененным рельефом может существенно облегчить выделение ранее не закартированных палеоразрывов, которыми не затронуты верхние горизонты платформенного чехла. При этом выяснение природы выделенного по космоснимку прямолинейного прерывистого элемента осуществлено путем комплексной интерпретации геологических материалов, как ранее известных, так и собранных авторами во время специально организованных полевых работ. Ил. 3.

УДК 551.243:528.77(571.53/55)

Опыт тектонического районирования с использованием космических снимков (на примере юга Восточной Сибири). Киренский А. С., Корчагин В. П., Кузьменко Р. Г. Методы дистанционных исследований для решения природо-ведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

На основе сравнительного анализа результатов дешифрирования космических снимков и геологического картирования проведено тектоническое районирование юга Восточной Сибири. По совокупности указанных данных выделены взаимосвязанные системы блоковых, купольно-сводовых и покровно-надвиговых структур и дана их краткая характеристика. Ил. 1.

УДК 551.4+550(571.1)+629.78

Дистанционные методы исследования активизации новейших тектонических движений юга Сибири и прилегающих территорий. Зятькова Л. К. Методы дистанционных исследований для решения природо-ведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

На основании дешифрирования ТВ космоснимков рассмотрены признаки активизирующихся новейших тектонических движений в горном обрамлении Сибири и прилегающих территорий, где наблюдаются «поступательные» движения с запада на восток. Ил. 6, табл. 2, библиогр. 33.

УДК 551+248.25551.4:528.77(—925.15)

Новейшая тектоника и геодинамика западной части Алтае-Саянской горно-складчатой области. Грицюк Я. М. Методы дистанционных исследований для решения природо-ведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

Изучены особенности деформаций исходной поверхности выравнивания в ходе формирования современного рельефа. Алтае-Саянская горно-складчатая область составляет часть Алтае-Саянско-Хангайского континентального свода, который состоит из девяти мегаблоков, окружающих Центральную мегадепрессию. В пределах исследуемой площади закартированы тектонические блоки трех порядков. Приведены геоморфологические признаки современных вертикальных движений отдельных блоков и доказательство важной роли горизонтальных движений при формировании рельефа. Ил. 4, библиогр. 11.

УДК 551.248.25 553.98(571.5)

Новейшая тектоника (с использованием материалов дешифрирования космоснимков) и ее влияние на нефтегазоносность Непско-Ботубинской антеклизы. Барламов И. П., Найденова Н. Е., Новосельцев И. С., Хилько А. П. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

Излагаются материалы мелко- и среднemasштабных неотектонических исследований, в процессе выполнения которых использованы данные дешифрирования космоснимков. Показано существенное влияние новейших тектонических движений на сохранность залежей нефти и газа и в целом на перспективы нефтегазоносности антеклизы. Анализ космоснимков дает богатый материал для решения геологами-нефтяниками и другими специалистами ряда вопросов новейшей тектоники и структурной геоморфологии.

Ил. 2, библиогр. 4.

УДК 551.243+620.783:551.242.4/056(—925.23; 925.24)

Использование аэрокосмических материалов при сеймотектонических исследованиях в горных и равнинных районах Средней Азии. Никонов А. А., Веселов И. А. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

По космофотоматериалам составлены карты линейментов, соотношенные с материалами геологических наземных исследований и данными о распределении эпицентров сильных землетрясений. Проанализирована карта линейментов Туранской плиты, составленная на основе снимков системы «Метеор-природа». При сравнении выделенных по космическим снимкам линейментов с региональными глубинными разломами, а также с эпицентрами сильных ($M \geq 6$) землетрясений обнаружено преимущественное их совпадение.

Ил. 1, библиогр. 14.

УДК 550.343+550.348.436

Периодичность размещения сейсмоактивных структур и динамический прогноз крупных землетрясений. Витязь В. И. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

Познание закономерностей пространственного размещения очагов землетрясений и полей их плотности на примере Курило-Камчатского региона позволило построить схему динамического дистанционного прогноза землетрясений. С учетом того, что сейсмоактивная структура (САС) представляет собой геологическую область накопления тектонических напряжений, картируются ареалы повышенной плотности землетрясений или САС, пространственно не совмещенные на разных глубинах. Морфология, размеры и расположение структурной системы, составляющих ее подсистем и САС не только определяют тип признаковых полей, но очерчивают территорию и задают сеть пунктов наблюдений, используемых для прогноза землетрясений.

Ил. 3, библиогр. 8.

УДК 551.24+550.34(571.56)

Сейсмоактивные разломы Олекмо-Становой сейсмической зоны в районе Токинского Становика (по результатам дешифрирования космических снимков). Гусев Г. С., Имаев В. С., Имаева Л. П., Козьмин Б. М., Парфенов Л. М. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

В статье рассматриваются вопросы сеймотектоники восточного сегмента обширной Олекмо-Становой сейсмической зоны, располагающейся на границе крупных геоструктурных элементов земной коры — Джугджуро-Становой орогенной области и Алданского щита. Анализ космических снимков позволил авторам выделить протяженную зону сейсмогенных Атугей-Нуямского и Майского разломов, представляющих собой правые сдвиги, и генетически связанного с ними Южно-Токинского надвига. Предлагается механизм формирования сейсмоактивных структур.

Ил. 2, библиогр. 16.

УДК 626.382+621.391

Трансформация и совмещение изображений при решении прикладных задач геологии. Забелин В. А., Пяткин В. П. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

Рассматривается набор алгоритмов и программ, дополняющих функциональные возможности системы в области тематической и сервисной обработки аэрокосмических снимков; сдвиг и поворот изображений, приведение изображений к единому масштабу; трансформация изображения в требуемую проекцию по опорным точкам; совмещение изображений с картами, схемами и др.; программный интерфейс между пользователем и системой.

Библиогр. 5.

УДК 621.382+553.98+629.7

Аэрокосмический мониторинг многолетнего экологического тренда. Виноградов Б. В. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

Рассматривается необходимость математического моделирования экологического тренда разных классов экосистем, на разных иерархических уровнях и при разной интенсивности динамики.

Ил. 3, библиогр. 14.

Геометрические преобразования цифровых изображений. Малыхин А. Е. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

Описан комплекс программ линейных и нелинейных геометрических преобразований цифровых изображений. Рассмотрены сложности, возникающие при решении этих задач, и пути их устранения. Дан пример практического применения.
Ил. 3, библиогр. 4.

УДК 502:629.782+681.323:528.7

Автоматизированная система полигонных измерений спектральных параметров древесных насаждений. Пляшник Ю. М., Харук В. И., Черепанов В. Г., Федотова Е. В. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

Рассмотрена структура полигона для обработки методов дистанционных исследований, изучения факторов, воздействующих на параметры собственного и отраженного излучений природных объектов. Обработка получаемых на полигоне данных и выполнение ряда элементов измерений производится автоматизированно.
Ил. 2, библиогр. 3.

УДК 621.382+551.1+55+4.629.7

Опыт цифровой обработки линеаментных сетей для целей прогнозирования полезных ископаемых и структурно-тектонического районирования. Шеремет О. Г., Моралев В. М., Перфильев Ю. С., Гоникберг В. Е. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

Приведены примеры цифровой обработки линеаментных сетей для выделения прогнозных площадей на поиск месторождений эндогенного типа, оценки степени фосфатности участков месторождения фосфоритов, оценки связей элементов дешифрирования КС с элементами структурно-тектонической схемы. Методика предназначена для цифровой обработки и интерпретации схем дешифрирования аэро- и космических снимков с помощью ЭВМ типа ЕС. Она представляет собой последовательность взаимно решаемых задач. К их числу относятся: 1) формализация структурных линий и эталонных геофизических объектов, 2) выбор оптимального размера осредняющей палетки и извлечение исходной информации со схем дешифрирования КС, 3) первичная классификация (районирование) выделенных величин признаков структурных линий, 4) обучение и поиск информативных признаков искомым геологическим объектам, 5) составление прогнозных алгоритмов и проверка численных решений. Отмечается эффективность рассматриваемой методики.
Ил. 3, библиогр. 12.

УДК 550.814

Выбор технологической схемы геологического дешифрирования для автоматизации. Антощенко-Оленев И. В. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

При автоматизации процесса геологического дешифрирования предлагается вместо описания фотообразов и их накопления использовать однозначно опознаваемые элементы поверхности (различного типа выпуклые и вогнутые перегибы, комбинации разноформных, разноразмерных сопряженных кусков поверхности и т. д.) для описания и анализа структуры поверхности с выделением участков с однотипной структурой, дополняя карту дешифрирования сведениями, полученными при анализе структуры фотоизображения после учета влияния разной ориентировки частей поверхности относительно источника света.
Ил. 2, библиогр. 5.

УДК 551.243+551.576:528.77+629.78

Причинно-следственные связи взаимодействия литосферы с атмосферой. Морозова Л. И., Борисов О. М. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

Рассматриваются примеры облачных аномалий, динамики снежного покрова над глубинными геотемпературными очагами, изменений ландшафта, связанных с разрывными нарушениями литосферы.
Ил. 5, библиогр. 10.

УДК 550.8:681.3:528.92

Автоматизированная обработка изображений. Морозов В. А., Яхно И. И., Кузьмина Н. В. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

Программное обеспечение внедряется и разрабатывается совместно с Информационно-вычислительным центром ПГО «Красноярскгеология». В настоящее время внедрены программы улучшения изображений, пространственно-статистического анализа схем линеаментов, анализа продольных профилей рек, вывода на фотоноситель полутонных карт изолиний и др.

УДК 629+551.4

К методике аппроксимации продольных профилей рек. Чернов Г. А. Методы дистанционных исследований при решении природоведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

Рассматривается ошибка, допущенная в методе количественной характеристики продольного профиля реки, предложенном П. В. Ивановым, которая заключается в неправильном выборе начала координат для построения аппроксимирующей кривой. Приводятся рекомендации по устранению этой ошибки.
Ил. 1, библиогр. 5.

УДК 550.814: (629.783:525)

Монтажно-аппликационный способ структурного анализа космических снимков. Молотков Н. К. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

Предлагается один из вариантов структурного анализа космических снимков, который включает в себя монтажно-аппликационные операции и создание фотомодели неотектонических движений. С помощью данного способа удается с определенной долей условности смоделировать процессы горизонтальных перемещений соседних участков земной поверхности, определить связанные с ними напряжения, типы сопряженных структур и перестройки рельефа.
Ил. 4, библиогр. 3.

УДК 634.434+551.4:634.11

Дистанционные модели оценки состояния и формирования таежных лесов после пожаров. Фуряев В. В. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

Обоснована необходимость системного анализа долговременных последствий пожаров и их роли в формировании лесов. Он должен включать как минимум три уровня пространственно-временной оценки: ретроспективное изучение истории прошлых пожаров; интегральную оценку их последствий, реализующуюся в специфике лесообразовательного процесса; прогнозирование послепожарной динамики лесов пожароустойчивости насаждений. Рассмотрены пути и методы практической реализации каждого из принципов изучения и оценки последствий пожаров.
Ил. 1, схема 1, библиогр. 31.

УДК 634.434+551.4+634.434

Изучение сезонной динамики ландшафтов дистанционными методами. Елагин И. П. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

Изложены научно-методические и теоретические основы дистанционной фенологии как новое направление изучения биологических ресурсов земли в их сезонной динамике.
Библиогр. 19.

УДК 629.78+528.77

Применение аэрокосмических материалов при лесоболотоведческих исследованиях. Горожанкина С. М. Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач.— Новосибирск: Наука, 1986.

Изложены результаты применения и совершенствования методов дистанционного зондирования в лесоболотоведческом изучении Западной Сибири, включая вопросы классификации, лесоболотного картографирования и разномасштабного районирования.
Ил. 9, схема 1, библиогр. 53.

3 руб.

4705



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ