

39865

К

УШ МЕЖДУНАРОДНАЯ КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СССР, Москва, август 1976

В.Н.Бриханов, В.К.Еремин, Г.В.Махин, В.А.Фараджов

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ, ПРИ
СОСТАВЛЕНИИ ТЕМАТИЧЕСКИХ КАРТ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО
СОДЕРЖАНИЯ

Национальный комитет картографов СССР

Москва, 1976

Материалы дистанционных съемок, выполняемых с воздушных и космических носителей, имеют важное значение для составления различных тематических карт геологического содержания: геологических (литолого-стратиграфических), литолого-формационных, тектонических, структурных по опорным горизонтам, минерагенических (в том числе металлогенических), геоморфологических, гидрогеологических, инженерно-геологических и других.

В настоящее время для составления таких карт наиболее широкое применение нашли материалы аэро- и космических съемок в фотографическом диапазоне электромагнитного излучения (в том числе узкозональных многоспектральных), получаемые с помощью фотографических, а также телевизионных и сканирующих аппаратов. В меньшей степени применяются материалы радиолокационных аэросъемок бокового обзора, проводимых активным методом в микроволновом (сантиметровом) диапазоне излучения; в опытно-поисковом порядке применяются материалы инфракрасной-тепловой аэросъемки.

Особая ценность материалов аэро- и космических съемок заключается в их обзорности, в естественной интеграции и генерализации на них элементов ландшафта, одним из компонентов которого является геологический субстрат. На одном снимке отображается сразу несколько геологических тел или структур того или иного ранга, что позволяет судить об их взаимоотношениях. Эффект интеграции на снимках мелких деталей строения местности, разрозненных или усложненных другими структурами, дает возможность увидеть на фоне частей целостные сооружения, ускользающие от внимания или вообще

не устанавливаемые при наземных наблюдениях. Объекты низких рангов на снимках генерализуются, благодаря чему обнаруживаются основные черты и главные особенности строения территории. Степень обзорности, интеграции и генерализации зависит от вида съемки и пропорциональна знаменателю ее масштаба.

Перечисленные свойства аэро- и космических снимков очень важны, так как позволяют достигнуть в построении геологических моделей значительно большей объективности, чем при составлении тематических карт геологического содержания без применения дистанционных методов съемок. Естественность генерализации геологического строения на аэро- и космических изображениях является базовым положением методологии геологического картирования по материалам дистанционных исследований. Картографирование земной поверхности всегда основано на генерализации изображаемых объектов, без чего невозможно создать модель совокупности природных объектов, каковой является любая карта геологического содержания. Однако при отсутствии материалов дистанционных съемок генерализация неизбежно в какой-то мере субъективна, причем степень субъективности нельзя оценить. В случае же привлечения названных материалов генерализация площадных выделов, линейных элементов и их взаимосвязей проводится на объективной основе и легко проверяема.

Составление карт геологического содержания на основе материалов дистанционных съемок состоит из ряда последовательных процессов.

Первый из них - трансформирование изображения в заданную проекцию, без чего в дальнейших операциях могут возникнуть серьезные ошибки. Задачи трансформирования в значительной мере решены в отношении аэро- и космических фотоснимков, получаемых при соблюдении определенных условий в проекции, близкой к центральной.

Геометрические искажения в этом случае подчинены определенным закономерностям и могут быть устранены. Алгоритмы трансформирования таких фотографий земной поверхности разработаны и позволяют осуществлять геометрические преобразования фотоснимков в производственных масштабах. Плановые фотографии, сделанные камерами с длиннофокусными объективами с больших высот, могут быть использованы без предварительного трансформирования, так как они сохраняют ортогональность даже на участках с сильно пересеченным рельефом. Это, кстати говоря, важное достоинство таких фотоснимков.

Значительно сложнее обстоит дело с трансформированием снимков, получаемых методами сканирования и радиолокации местности. Геометрические искажения в этом случае возникают от случайных причин (отклонения носителя съемочной аппаратуры от заданного положения в пространстве, изменения скорости носителя и скорости сканирования) и не подчиняются определенным законам. С этим связана трудность получения стереомодели по изображениям такого типа и сложность трансформирования подобных снимков в определенную проекцию. Задача трансформирования этих изображений наилучшим образом может решаться путем внесения необходимых поправок за изменения условий съемки непосредственно на борту носителя. Менее предпочтительно трансформирование изображений путем приведения их к выбранной эталонной модели с помощью электронных сканирующих трансформаторов и ЭВМ.

Следующий за трансформированием этап составления карт геологического содержания - дешифрирование материалов дистанционных съемок, то есть выявление геологических тел и структур, их выделение в площадных контурах и линейных элементах, а также обнаружение признаков геологических процессов. Дешифрирование производится обязательно с использованием стереозффекта при помощи соответствующих приборов (даже в случае отсутствия стерео-

пар с частичным перекрытием стереоскопически рассматривается пара одичковух снимков). Космические снимки дешифрируются как оригинальные, так и увеличенные. При использовании материалов аэрофотосъемки рассматриваются не только контактные отпечатки, но также фотосхемы и фотопланы, дающие большую обзорность. Для достижения наибольшей полноты и объективности дешифрирования один и те же снимки изучаются минимум двумя дешифровщиками независимо друг от друга. В необходимых случаях производятся преобразования первичных изображений (оптическая или электронная фильтрация, разложение изображения по уровням фотоплотности с помощью телевизионных квантующих систем), что позволяет извлечь из снимков дополнительную информацию и вести дешифрирование более уверенно. Разрабатываются средства и способы автоматизации дешифрирования путем преобразования изображений в цифровые схемы с помощью ЭВМ. Однако для геологических объектов - наиболее сложных, многокомпонентных природных образований автоматизированные способы дешифрирования и тем более интерпретации очень далеки от разрешения.

Результаты дешифрирования сводятся на фотопланах или фотокартах, что облегчает геологическое истолкование (интерпретацию) элементов изображения с учетом всех их совокупности. Методология геологической интерпретации материалов дистанционных съемок основана на теории индикации природных геологических объектов по данным фотографического (радиолокационного, инфракрасного-теплого) изображения, а практически - на разработке (различными способами) и применении критериев интерпретации геологического содержания выделенных при дешифрировании геологических объектов. Несмотря на ряд трудностей в создании единой теории природных индикаторов, методы извлечения геологической информации из материалов дистанционных съемок успешно разрабатываются и применяются на практике. Большую роль играет так называемый контрастно-аналоговый принцип распознавания и идентификации геологических объек-

тов, без применения которого расшифровка геологической информации материалов дистанционных съемок вообще невозможна. Практически интерпретация в значительной мере сливается с дешифрированием в единый процесс.

Интерпретация результатов дешифрирования - наиболее сложный этап работы. При этом, во-первых, используется геологический опыт интерпретатора, который по комплексу дешифровочных признаков может предполагать, с геологическим объектом какого типа он имеет дело в каждом конкретном случае. Вырабатываются определенные критерии интерпретации природных объектов геологического содержания, в ряде случаев (например, для интрузий гранитоидного состава одного этапа геологической истории) весьма устойчивые на значительных территориях. Затем для определения содержания отдешифрированных объектов используются имеющиеся геологические, тектонические, геоморфологические и другие карты (сообразно с тематикой интерпретации), а также ранее накопленный для данного региона фактический геологический и геофизический материал. Отмечаются все неясные по содержанию объекты, новые, не нашедшие отражения на ранее составленных картах и те, интерпретация которых по дешифровочным признакам противоречит известным данным. Все такие объекты подлежат дополнительному изучению и анализу.

Дешифрирование и интерпретация аэрофотоснимков сопровождаются определениями элементов залегания слоев и плоскостей разрывных нарушений, углов наклонов останцов поверхностей выравнивания, крутизны склонов, относительных превышений, мощностей пачек и отдельных тел горных пород, построением ритмограмм, геоморфологических профилей и геологических разрезов, трассированием опорных горизонтов и построением структурных карт с помощью фотограмметрических приборов. В ряде случаев по аэрофотоснимкам могут быть рассчитаны также мощности четвертичных отложений долинного комплекса.

В результате интерпретации и типологизации отдешифрированных объектов составляется рабочая легенда к карте, содержание которой может быть весьма различно и зависит от информативности используемых материалов дистанционных съемок и от специализации их интерпретации, принятой при постановке задачи картографирования.

Далее следует этап проверки результатов дешифрирования и интерпретации, насыщения дешифровочных данных фактическим геологическим материалом. Определенным элементом проверки служит совпадение данных интерпретации отдельных геологических объектов по материалам дистанционной съемки с данными существующих карт геологического содержания. Однако это лишь частный случай, ибо обычно в результате дешифрирования появляется много новой геологической информации, не нашедшей отражения на геологических, тектонических и других подобных картах. В получении именно новых данных исключен основной смысл применения материалов дистанционных съемок. Но проверка их, подтверждение и конкретизация содержания другими материалами составляют трудную задачу. Выбор оптимальных средств и методов проверки представляет наиболее ответственный момент в этапе проверочных работ.

Проверка всех выделенных по материалам дистанционных съемок геологических элементов и объектов – трудоемкая и дорогостоящая работа, особенно если надо проверить результаты дешифрирования космических и других мелкомасштабных снимков, охватывающих крупные территории. Поэтому полевые проверочные работы геологическими, геофизическими и другими методами проводятся не на всех выделенных дешифрированием объектах, а на отдельных представительных объектах каждого типа с последующей экстраполяцией полученных данных на другие объекты данного типа. Таким образом, при составлении карт используются как дедуктивный (от общего к частному), так и индуктивный (от частного к общему) методы познания. Работы выполняются с полевым дешифрированием материалов дистанционных съемок.

После камеральной обработки собранных в поле данных снимки дешифрируются и интерпретируются повторно с учетом новых сведений; проводится окончательная типологическая классификация геологических объектов по изображению и уточняется легенда карты.

Заключительный этап составления карты геологического содержания – перенесение всех накопленных сведений со снимков (фотопланов, фотокарт) на картографическую основу выбранной проекции. Если снимки предварительно трансформированы, то перенос не представляет проблемы и практически осуществляется двумя способами: инструментальным с помощью фотограмметрических приборов и визуальным. Визуальный способ переноса не всегда пригоден, так как для районов бедных естественными ориентирами он не может обеспечить необходимую точность; ошибки при визуальном переносе данных дешифрирования могут привести к искажению геологических ситуаций, что повлечет за собой ошибки в направлении и размещении геологоразведочных работ.

Материалы дистанционных съемок разных видов и масштабов несут качественно различную информацию, что обусловлено, с одной стороны, используемой областью спектра электромагнитных волн и техническими средствами их фиксации, а с другой – разной степенью генерализации элементов ландшафта на получаемых снимках. В связи с последним на фотоизображениях разных масштабов дешифрируются геологические объекты разных рангов (порядков). Соответственно этому по снимкам разных видов и масштабов составляются карты неодинакового содержания.

На основании дешифрирования телевизионных снимков масштаба мельче 1:5 000 000 составляются космогеологические карты, примером которых является карта Восточно-Европейской платформы (фиг. I). Основными единицами картографирования здесь выступают крупные блоки земной коры, разделенные разломами и различающиеся историей формирования и внутренним устройством.

Фотосканерные космические снимки, которые при тех же масштабах имеют большее разрешение на местности, позволяют создавать карты структурно-тектонического районирования. В качестве примера такой карты приводится районирование Туранской плиты (фиг. 2). Наряду со структурообразующими разломами (в том числе "просвечиваемыми", не установленными при наземном геологическом картировании) на карте выделены районы, различающиеся присущими им тектоническими формами, мощностями и составом горных пород платформенного чехла. С этими элементами увязываются основные данные по минералогии территории.

Космические снимки масштаба 1:1 000 000 и близкого к нему (например, фотографии с корабля "Союз-12" и изображения мультиспектрального сканирования с "ЕРТС") обладают еще большей разрешающей способностью, более низким уровнем генерализации природных объектов и в то же время сохраняют синоптический (т.е. сводный, высокообзорный) характер информации. Это дает возможность строить более детальные карты крупных районов, примерами которых являются структурно-геологические карты районов п-ва Мангышлак (фиг. 3) и оз. Галлахш (рис. 4). Указанные снимки позволили выделить на этих картах не только структурно-формационные зоны и сеть разрывных нарушений, но также отдельные литолого-стратиграфические подразделения и комплексы интрузивных образований.

Аэрофотоснимки давно и успешно используются при составлении среднемасштабных и крупномасштабных аэрофотогеологических, геологических, геоморфологических, инженерно-геологических, гидрогеологических и других карт. Одновременно привлекается вся гамма разномасштабных материалов космических съемок. При картировании каждого конкретного района используются материалы аэрофотосъемки не одного какого-то определенного масштаба, а все имеющиеся на район снимки с трехкратной и большей разницей масштабов (снимки, сделанные стандартными аэрофотоаппаратами на стандартные фотолен-

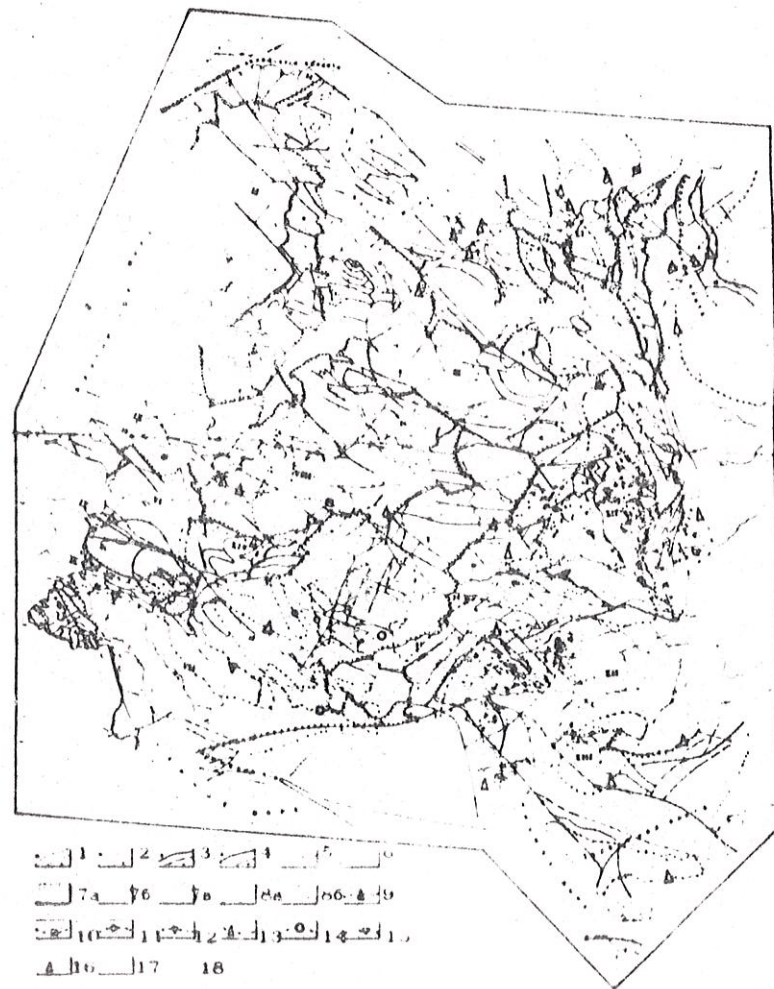
ки и различающиеся по масштабу не менее, чем в 3 раза, содержат заметно разную геологическую информацию). В последние годы начали применяться мелкомасштабные аэрофотоснимки, получаемые с высот 7,5 - 12 км. Таким образом, при производстве съемочных работ геологического профиля соответствующие специалисты изучают аэрофотоснимки по крайней мере пары масштабов, например, 1:150 000 и 1:50 000 или 1:100 000 и 1:25 000. Уже в ходе геологических исследований для отдельных наиболее сложных участков и для планово-высотной привязки горно-буровых выработок проводится плановое фотографирование в масштабе 1:5 000 - 1:15 000 с помощью малоформатной камеры, установленной на легком самолете. В глубокорасчлененных крутосклонных районах применяется перспективное воздушное и наземное стереоскопическое фотографирование.

Тематические карты геологического содержания, составленные в среднем и крупном масштабах на основе дешифрирования материалов аэрофотосъемки, созданы для различных районов Советского Союза и достаточно хорошо известны. Поэтому примеры таких карт здесь не приводятся и не разбираются.

Гораздо важнее констатировать, что использование материалов аэрофотосъемки существенно изменило методику и организацию региональных геологических работ. Ныне геологическая партия проводит работы на большой площади, охватывающей целостную геологическую структуру или крупную часть ее и соответствующей группе номенклатурных листов топографической карты (групповая геологическая съемка). Размещение полевых работ при этом основывается на результатах дешифрирования аэроснимков; исследования сосредоточиваются на наиболее информативных и сложно построенных, а также на перспективных в поисковом отношении участках. Картирование ведется от общего к частному путем последовательного, обычно в течение трех полевых сезонов, сгущения сети наблюдений по всей территории, многократной интерпретации материалов дистанционных исследований и

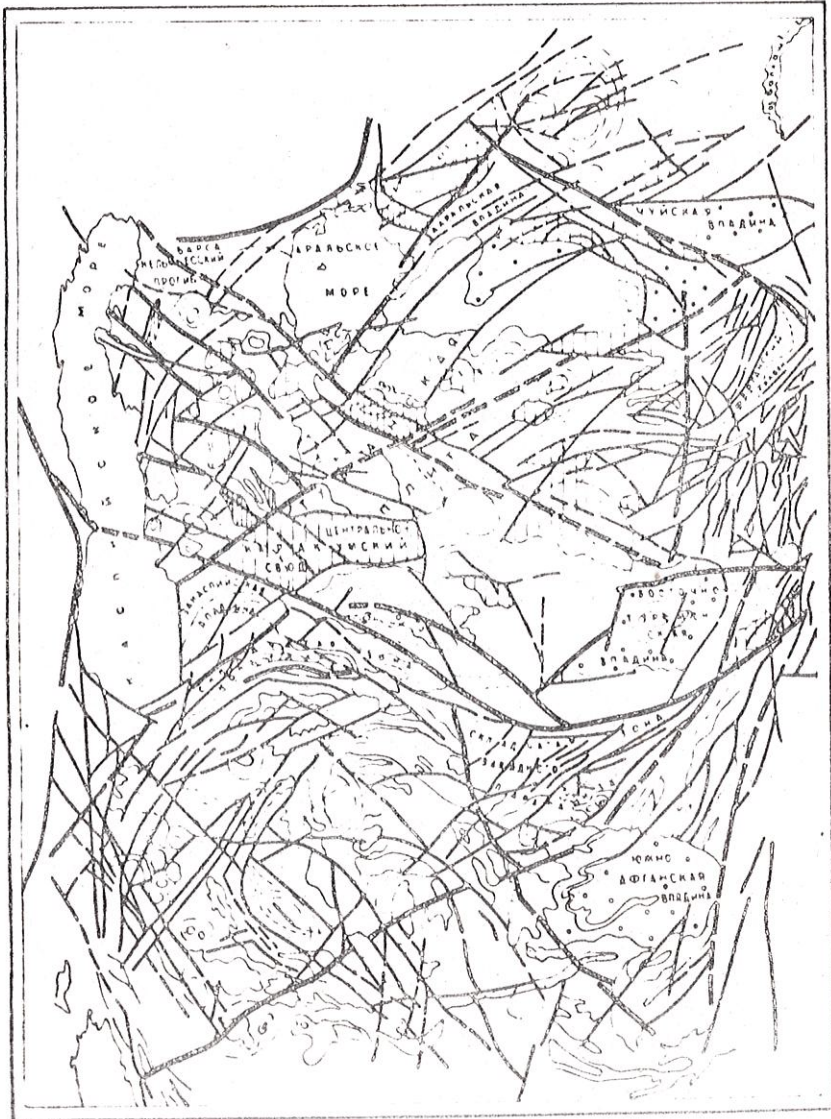
составления на всех промежуточных этапах работ предварительных карт всей территории. Данные полевых наблюдений и камеральных исследований сводятся на фотопланах, ибо интерпретация фотозображения местности лежит в основе построения геологической и других карт, составляемых в процессе региональных работ.

В заключение подчеркнем, что предметная наглядность материалов дистанционных исследований обеспечивает воспроизводимость карт, составляемых с использованием этих материалов. Дешифрование природных объектов и интерпретация их содержания остаются в некоторой мере субъективными, однако критерии дешифрования и суждений можно рассмотреть (в буквальном смысле) и оценить. Что же касается идентификации разобщенных объектов, то обоснованность ее становится особенно очевидной. Все это обеспечивает воспроизводимость карт, которая является мерой их достоверности.

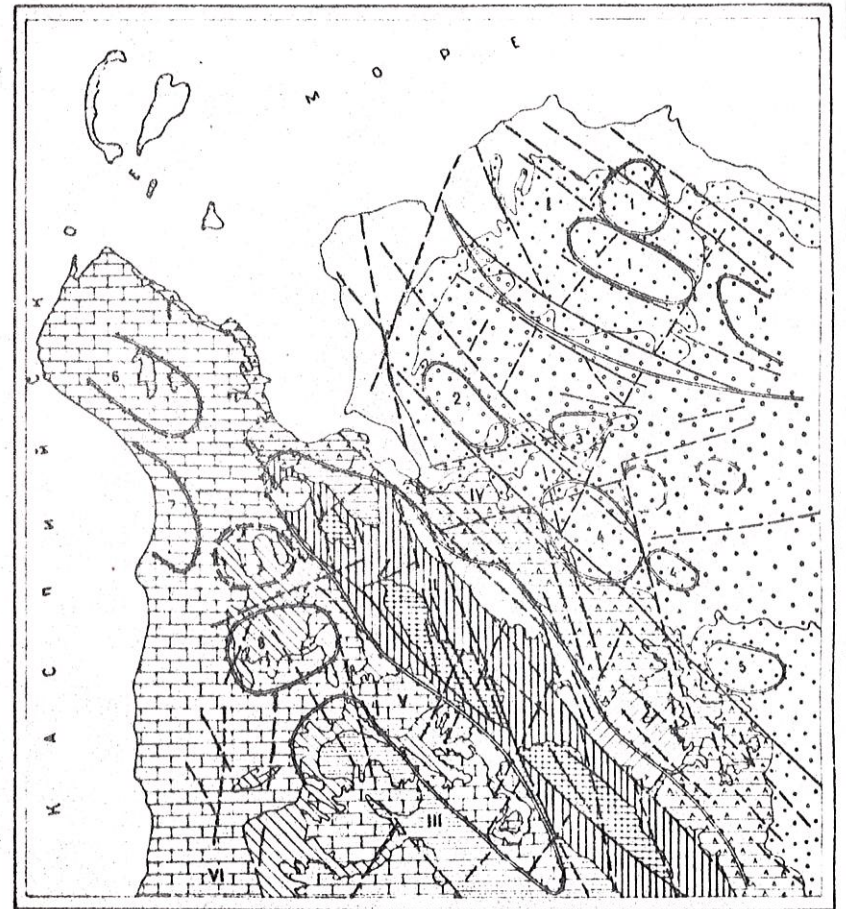


Фиг. I

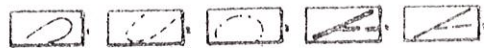
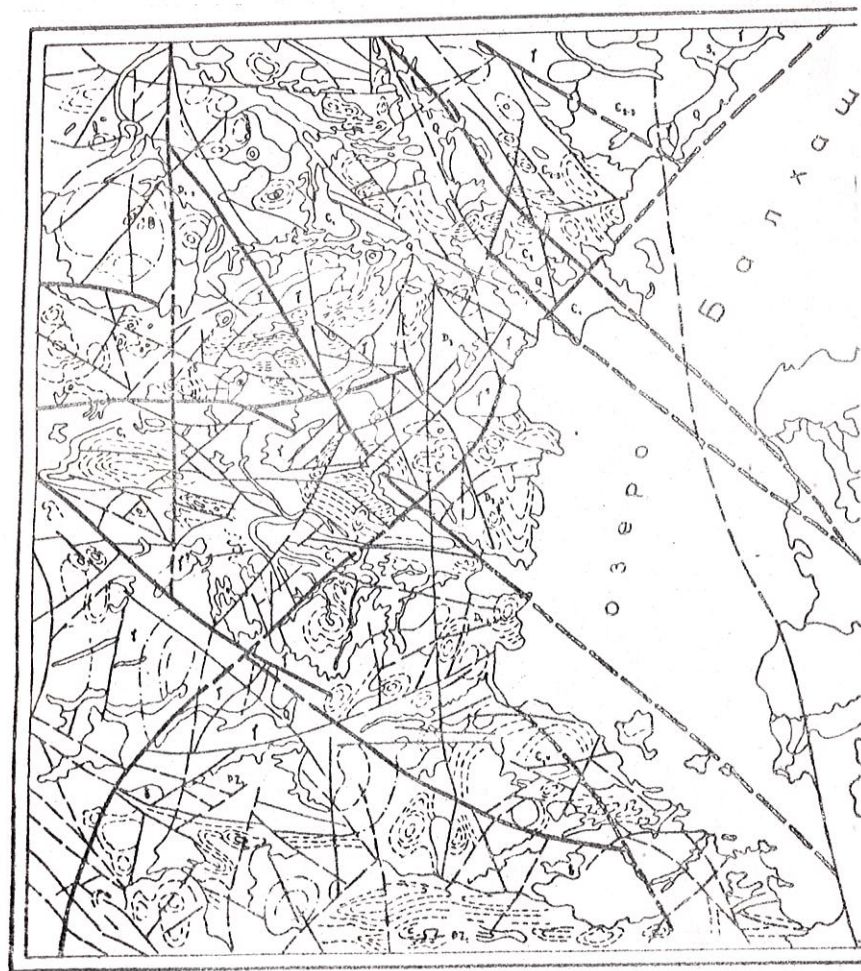
Отпечатано на роталпринте Элеватороргстроя. Тираж 600 экз.



Лит.



Фиг. 3



Фиг. 4

Фиг. I. Космотектоническая карта Восточно-Европейской платформы. Составила И.И.Башилова по телевизионным снимкам, полученным со спутников серии "Метеор".

I - границы мегаблоков отчетливые (а) и предполагаемые (б); 2 - границы структурных зон и отдельных структур, дешифрирующиеся более (а) и менее (б) уверенно; 3 - разломы региональные крутопадающие, выраженные резко (а) и менее резко (б); 4 - надвиги региональные (а) и локальные (б); 5 - предполагаемые чешуи; 6 - структурные линии различного содержания; 7 - поднятия, своды, вавы, горсты наибольшей (а), средней (б) и малой (в) амплитуд; 8 - прогибы, впадины, грабены более (а) и менее (б) погруженные; контуры известных бассейнов: 9 - нефтегазоносных; 10 - угольных, 11 - железорудных, 12 - Днепровского (руды железа и никеля, бокситы, уголь и др.); контуры перспективных, по данным дешифрирования, площадей на: 13 - нефть и газ, 14 - руды железа, 15 - никель, железо, бокситы, уголь и др.; 16 - прогнозируемые отдельные месторождения нефти и газа; 17 - граница облачности; 18 - территория, на которую нет пригодных для геолого-тектонического дешифрирования снимков. Прочими знаками (крапаки, заливкой) показаны различные по положению и строению структурные зоны и формы внутри мегаблоков, выделенные по разным рисункам телевизионного фотоизображения. Мегаблоки Восточно-Европейской платформы: I - Кольско-Карельский, II - Шведско-Финляндский, III - Онежско-Камский, IV - Двинско-Вычегодский, V - Воронежская глыба, VI - Белорусский, VII - Украинский, VIII - Московская синеклиза, IX - Прибалтийский, X - Среднеуральский, XI - Печорский, XII - Урало-Каспийский, XIII - Гурьевский мегавал, XIV - Киевско-Бобруйский. Структурные зоны: I - Онежское поднятие, 2 - Мурманский массив, 3 - Кейвский синклиниорий, 4 - синклиниорий Имандра-Варзуга, 5 - Инарский массив, 6 - Беломорский массив, 7 - Леченгская впадина, 8 - Хибинский плутон, 9 - Ловозерский плутон, 10 - Карельский массив, 11 - Выборгский массив рапакиви, 12 - Салминский массив рапакиви, 13 - Сыктывкарский горсто-свод, 14 - Нядомский массив, 15 - Вологодский массив, 16 - Кировская грабен-синеклиза, 17 - Двинско-Мезенское поднятие, 18 - Вычегодский грабенообразный прогиб, 19 - Северо-Двинский грабен, 20 - Центральное поднятие Воронежской глыбы, 21 - Брестский горсто-свод, 22 - Днепровско-Донецкий прогиб, 23 - Доно-Медведицкий горсто-вал, 24 - Жигулевский вал, 25 - Жигулевско-Пугачевский свд, 26 - Костромское поднятие, 27 - Крестцовский прогиб, 28 - Тихвинские дислокации, 29 - Саратовские дислокации, 30 - Саранский плутон, 31 - Куйбышевский интрузивный

(?) массив, 32 - Даугавпилский массив, 33 - Прибалтийская синеклиза, 34 - Башкирский горст, 35 - Пермская зона, 36 - Среднеперчорский массив, 37 - Интинский массив, 38 - Приволжская зона, 39 - Баскунчакская зона, 40 - Эльтонская зона, 41 - Прикаспийская зона, 42 - Астраханская зона, 43 - Уральская зона, 44 - Чапавская зона, 45 - Инзерская зона, 46 - Сарapulьская зона, 47 - Кавказская зона, 48 - Уфимская зона, 49 - Магнитогорская зона, 50 - грабен нижней Оби, 51 - выступ Четласского камня, 52 - Вымский горсто-вал, 53 - спарангит полуостровов Варангера и Рыбачьего, 54 - Львовско-Житомирская зона чешуйчатых надвигов.

Фиг.2. Схема структурно-тектонического районирования Туранской плиты. Составлена по фотосканерному снимку с ИСЗ "Метеор-18".

Границы крупных структурных форм: 1 - четко дешифрирующиеся, 2 - дешифрирующиеся менее уверенно; 3 - контуры концентрических ("кольцевых") структур; разломы: 4 - глубинные (частично сопрягаемые шовными прогибами), 5 - региональные; сводовые поднятия: 6 - более высокие, 7 - менее высокие; впадины, прогибы: 8 - более глубокие, 9 - менее глубокие.

Фиг.3. Структурно-геологическая карта района п-ва Мангышлак. Составили С.М.Богородский, И.К.Абросимов, Е.А.Востокова, Л.И.Солдьева по фотографическому снимку с корабля "Союз-12".

1 - пески нижнего уровня новокаспийских слоев; 2 - пески верхнего уровня новокаспийских слоев; 3 - хвалынские пески с галькой; 4 - известняки и мергели среднего миоцена - нижнего плиоцена; 5 - глины олигоцена - нижнего миоцена; 6 - глины, мергели, пески палеогеновые; 7 - известняки, мергели, пески датского яруса - палеогена; 8 - песчаники и глины меловые; 9 - песчаники, алевролиты, глинистые сланцы юрско-меловые; 10 - песчаники, аргиллиты, алевролиты пермо-триасовые; 11 - граница региональных поднятий и прогибов; 12 - контуры локальных поднятий, распознаваемых уверенно (а) и предположительно (б); 13 - дешифрирующиеся линейные разрывные нарушения, подтверждаемые существующими геолого-геофизическими материалами (а) и предполагаемые (б). Региональные поднятия: I - Бузачинское, II - Мангышлак-Центрально-Устьертское, III - Беке-Башкудукское. Региональные прогибы: IV - Ежно-Бузачинский, V - Чакирганский, VI - Ежно-Мангышлакский. Локальные поднятия: I - Джаман-Орлинской группы, 2 - Ашисорское,

3 - Тацекундукское, 4 - Кожканской группы, 5 - Кешнар-Кюкундукское, 6 - Тубеджинской группы, 7 - Молоспанской группы, 8 - Караманское.

Фиг. 4. Структурно-геологическая карта района оз.Балхаш. Составлена по снимкам мультиспектрального сканирования с ЕРТС.

I - дешифрирующиеся границы между вещественно-структурными комплексами (отдельные литолого-стратиграфические подразделения и интрузивные образования обозначены символами); 2 - структурные линии, маркирующие складки; 3 - контуры концентрических ("кольцевых") структур; 4 - главные разломы, разделяющие структурные блоки; 5 - прочие крупные разломы.