

# АЭРО - КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
· НАУКА ·



АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
Институт космических исследований

# АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ

5386



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1979



Сборник содержит материалы 1-й Всесоюзной научной школы-семинара по исследованиям Земли аэрокосмическими методами, интерпретации полученной информации для решения ряда народнохозяйственных задач в областях геологии, географии и картографии, лесного и сельского хозяйства, океанологии, гидрометеорологии и др.

Сборник будет полезен широкому кругу специалистов, занимающихся и интересующихся вопросами использования аэрокосмических материалов для исследования природных ресурсов Земли, их охраны и рационального использования.

Редакционная коллегия:

С. В. ЗОНН (отв. редактор),

И. С. ГАРЕЛИК (зам. отв. редактора),

Л. В. ДУНИН-БАРКОВСКИЙ, Ю. Г. КЕЛЬНЕР,

В. И. КРАВЦОВА, Г. В. МАХИН,

В. Г. ТРИФОНОВ



Расширение и углубление исследований Земли из космоса открывают новые и многогранные возможности изучения природных ресурсов. Эти исследования дают оригинальные и часто более эффективные пути организации оперативного контроля за динамикой воспроизводимых ресурсов при разнообразных глобальных и региональных их преобразованиях и освоении отдельных ресурсов человеком.

Уже сейчас поступление космической информации значительно опережает ее освоение для решения научных и практических задач. Причины такого положения различны, но немалую роль в этом играет известный консерватизм в использовании для более глубокого проникновения в тайны природных ресурсов Земли дистанционных методов с космических высот, в отличие от привычных визуальных методов, основанных на традиционных непосредственных контактах специалистов с изучаемыми природными объектами.

Дистанционные методы отличаются от наземных большей объективностью, основанной на всемерном использовании физических характеристик природных объектов, которые специалисты наук о Земле применяют еще недостаточно. Поэтому успешное освоение космической информации для исследования природных ресурсов Земли связано с разработкой методов дешифрирования, базирующихся не только на пассивном визуальном анализе снимков, но в большей мере на физических и математических методах распознавания образов.

На этой основе дешифрируются природные объекты и определяется их ресурсное состояние на глобальных, региональных и участковых космических изображениях различных типов и масштабов. При этом необходимо иметь ясные представления о возможностях, которые заключены в космической информации, и ее значении для углубления познания природных ресурсов, закономерностей распределения и современного состояния их освоения.

Исходя из этих основных задач, стоящих перед науками о Земле в области освоения космической информации, в сборник включены статьи по вопросам разработки и применения аэрокосмических методов.

Одна из практических задач сборника — привлечение внимания научных и производственных организаций к перспективной с точ-

ки зрения науки и экономики проблеме использования аэрокосмических средств для всестороннего изучения природных ресурсов Земли с целью освоения, регулирования и охраны, особенно воспроизводимых, ресурсов Земли.

Сборник состоит из двух частей. В первой части помещены обобщающие статьи о путях и методах применения аэрокосмических материалов для решения широких географических проблем (геоморфологических, гидрологических, лесных, земельных, сельскохозяйственных, картографических), и статьи, характеризующие возможности решения конкретных географических задач, таких, например, как изучение мелиорируемых земель, снежного покрова, почвенных ресурсов, антропогенных изменений природной среды и др.

Во второй части приведены статьи, освещающие перспективы применения аэрокосмических материалов для решения геологических проблем и показывающие решение с их помощью некоторых конкретных теоретических и практических задач.

Такое многогранное рассмотрение проблем несомненно принесет пользу как развитию аэрокосмических методов исследования, так и их применению в различных отраслях науки и народного хозяйства.

*Редколлегия*

# АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ СЪЕМКА И ПРОБЛЕМЫ ГЕОГРАФИИ

\*

*С. В. Зонн*

## ПРОБЛЕМЫ ГЕОГРАФИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РЕШЕНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Развитие человеческого общества, рост населения и его жизненного обеспечения сопровождаются возрастанием потребностей в природных ресурсах и резким усилением нагрузки на природную среду. В связи с этим возникают совершенно новые аспекты взаимодействия человека с природой. Если в недалеком прошлом природа справлялась с «отходами жизни человечества» и ее способность к самоочищению обеспечивала переработку поступающих промышленных и бытовых отходов, то сейчас соотношения между ними во многих странах становятся обратными, т. е. поступление отходов превышает возможность их естественной переработки. Если раньше недостатков в обеспечении потребностей человечества в природных ресурсах не ощущалось, то в настоящее время эти потребности настолько возросли, что добыча их (например, нефти) не обеспечивает потребностей многих стран. Вследствие этого неуклонно повышается объем транспортировок ресурсов на далекие расстояния, в целях обеспечения ими непрерывно возрастающего промышленного потенциала ряда стран. Резко возрастает и ассортимент потребляемых природных элементов, особенно рассеянных в литосфере. Добыча их требует переработки и перемещения огромных масс вмещающих эти элементы пород. Все это приводит к существенным нарушениям природных условий и сокращению ресурсов сельского и лесного хозяйств, а также рекреации. Если в прошлом загрязнения и изменения биосферы были только очаговыми или в худшем случае региональными, то в настоящем они приобретают глобальный характер, особенно вследствие далекой транспортировки многих вредных загрязнителей водными, воздушными и различными другими путями. Кроме того, созданные человеком стойкие вредоносные загрязнители, особенно различные детергенты, из-за медленности разложения их в природных услови-

ях не только накапливаются на поверхности суши и в водоемах, но и отравляют все живое.

Можно было бы привести многие примеры локального и глобального, прямого и косвенного нарушения биосферы, т. е. «дома, в котором живет и трудится человечество», но это предмет особого рассмотрения. Мы же имели в виду только показать насколько важной становится проблема сохранения и улучшения биосферы. Уместно напомнить, что современные масштабы научно-технической революции определяют и перестройку многих наук, особенно географии. В ней формируется новое конструктивно-преобразовательное направление, развивающее, по И. П. Герасимову, теоретические основы планомерного преобразования природы для эффективного использования и воспроизводства естественных ресурсов, прогнозов изменения природной среды и научных принципов формирования новых и реконструкции сложившихся производственно-территориальных комплексов в новой природной обстановке, а также обоснования размещения общественного производства и расселения людей. При этом следует подчеркнуть, что конструктивная разработка проблем целенаправленного преобразования природной среды может быть успешной при использовании передовых теорий и современных методов исследований.

Каковы же основные проблемы современной географии, нуждающиеся в срочной разработке в связи с вышесказанным? Главнейшими из них нам представляются следующие.

1. Сохранение и рациональное освоение природных условий и естественных ресурсов Земли, как основы жизни человеческого общества.

2. Выявление многогранности взаимодействий современного общества с окружающей природной средой и интенсивности воздействий человека на природу.

3. Прогнозирование состояния воспроизводимых ресурсов Земли и различного рода стихийных явлений и процессов, нарушающих общественное производство и условия жизни человечества.

К особенностям перечисленных проблем следует отнести: региональное и глобальное их значение; все ускоряющиеся темпы воздействия человека на природу и природные ресурсы; большое участие транзитных процессов в их проявлении и изменении; все усложняющиеся, расширяющиеся и углубляющиеся взаимодействия человека с природой и вследствие этого проявление новых видов воздействия, нередко неожиданно, в различных частях нашей планеты, их роль может быть катастрофической.

Перечисленные и многие другие особенности, порождаемые агрессивным наступлением человека на природу и природные ресурсы, вызывают настоятельную необходимость внедрения существующих и разработку новых методов, их быстрого и глобального учета и изучения. Эти методы должны способствовать получению оперативной информации, на основе которой возможна разработка

способов предотвращения отрицательных последствий освоения природных ресурсов и их восстановления.

В решении кардинальных проблем современной географии особое место занимают аэрокосмические методы. С помощью высотных самолетов, искусственных спутников Земли (ИСЗ) и космических кораблей — этих новейших инструментов глобального и динамичного познания природы, имеются все возможности создать новое направление в географии, призванное не только уточнять наши знания о природных ресурсах Земли, но и контролировать рациональность их освоения и восстановления.

Из особенностей аэрокосмических методов следует подчеркнуть высокую обзорность получаемых с их помощью снимков, возможность проследить изменения компонентов биосферы на больших расстояниях и площадях, в крупных региональных и глобальных размерах. Но особенно большим преимуществом обладают изображения из космоса благодаря своей естественной генерализации. Обычные аэроснимки подобных качеств не имеют; они дают большую мозаичность и поэтому структурные и другие глобальные закономерности изменения природы и природных ресурсов на них, как правило, затушевываются. Генерализация способствует тому, что маскирующее влияние одних природных компонентов на другие, например, почв и растительности на геоморфологию, резко уменьшается и на снимках «просвечивают» те главные черты, которые не охватываются ни визуальным наблюдением, ни аэро-съемкой.

Необходимо подчеркнуть, что подходы к освоению результатов космических съемок в разных странах пока оказываются различными. Но общая цель их одна — скорейшее использование их для решения практических задач. Различия же объясняются тем, что космические методы требуют: от географов свободного владения физическими и математическими методами изучения природных объектов, а от физиков и математиков всестороннего знания природы географических компонентов, их динамики и степени устойчивости к антропогенным воздействиям. Успех внедрения космических методов в науку и практику в значительной степени зависит и от своевременного и быстрого обеспечения географов материалами аэрокосмических съемок. Использование аэрокосмических снимков в народном хозяйстве связано с объединением усилий ученых различных специальностей по изучению природных ресурсов Земли из космоса.

Этот сложный научный взаимодействующий комплекс, призванный обеспечить практическое освоение материалов аэрокосмических исследований, требует специального рассмотрения. Мы же здесь ограничиваемся рассмотрением лишь некоторых проблемных аспектов применения аэрокосмических методов в географии.

На современном этапе развития аэрокосмических методов существуют различные подходы к использованию дистанционных съемок для целей изучения природной среды. В целом способы об-

работки всех видов съёмочного материала можно подразделить на три группы: визуальную, инструментальную и смешанную.

*Первая группа* — визуальная интерпретация результатов дистанционных съёмок — базируется в основном на традиционных методах дешифрирования различных фотоизображений. Сюда же можно отнести и неинструментальную обработку данных дистанционного измерения в отдельных точках и по профилям различных спектральных и радиационных характеристик природных объектов. Работы такого характера направлены главным образом на качественное уточнение отдельных показателей природных объектов и их географических границ, обновление и уточнение границ на тематических картах, уточнение характеристик природных объектов по их фотоморфологическим признакам и т. п.

*Вторая группа* — инструментальная обработка материалов дистанционных съёмок. Это направление находится в стадии экспериментальных исследований, направленных на отработку методик объективного дешифрирования и последующего анализа с использованием математических методов. Сюда входит машинное распознавание различных природных объектов и их комплексов, определение количественных показателей их структуры и свойств (влажности почвы, температуры подстилающей поверхности, мутности воды, стадий вегетации растительности и т. д.)

*Третья группа* — визуально-инструментальная — представляет собой комбинацию визуального дешифрирования и дополнительной инструментальной обработки тех объектов, которые необходимо исследовать количественно.

В каждом отдельном случае необходимо решать вопрос о выборе той или иной группы способов обработки или их разумного сочетания. Несомненно этими тремя группами не исчерпываются возможности использования космических методов для выявления состояния природной среды и ее ресурсов.

Дальнейшее развитие космических исследований несомненно принесет много нового в географию и позволит более объективно характеризовать природные явления и процессы. Однако уже на данном этапе возможности аэрокосмических исследований достигли такого уровня, что можно сформулировать задачи, решение которых с их помощью быстрее и точнее, чем наземными или какими-либо другими методами. Различные отрасли географии — геоморфология, геоботаника, гляциология, география почв, картография и др. — должны разрешать свои специфические вопросы, используя перечисленные выше группы аэрокосмических исследований.

Так, при изучении рельефа земной поверхности космические материалы необходимы для решения таких задач, как: выявление геоморфологических процессов в глобальных масштабах; установление сравнительных связей мега-, макро- и мезоформ рельефа с геологическим строением; исследование динамики геоморфологических явлений и особенностей рельефообразования; выявление

связей между экзогенными и эндогенными процессами рельефообразования; составление разномасштабных геоморфологических карт на труднодоступные территории и уточнение существующих карт; геоморфологическое районирование.

Не менее важной проблемой геоморфологии в сочетании с другими географическими исследованиями является разработка моделей стихийных природных явлений и процессов катастрофического характера (селевые потоки, оползни, овражная и склоновая эрозия, дефляция) с целью их прогнозирования. Как отмечалось, этому способствуют высокая обзорность космических снимков, возможность проследить на них отмеченные выше образования, явления и процессы на больших расстояниях и выявить крупные региональные и глобальные закономерности геоморфологического строения. Иногда могут быть прослежены и глубоко погребенные структуры сквозь толщу лежащих сверху покровных отложений. В пустынных районах возможно выделение площадей с неглубоким залеганием пресных и минерализованных вод.

Повторяемость съемок позволит наблюдать и выявлять рельефообразующие процессы в их динамике; судить о разрушительном действии речных и морских вод, ветровых процессов, выявлять особенности осадконакопления, вулканизма, землетрясений и др.

Изучение растительности — естественной и сельскохозяйственной травянистой, а также лесной древесной, приобретает наибольшее значение, особенно на огромных малодоступных лесных, тундровых и заболоченных территориях. Не менее важно изучение растительного покрова и на обжитых сельскохозяйственных территориях, где использование дистанционных методов для распознавания видов посевов, соотношения их с сенокосными, пастбищными и другими угодьями, а также установление биологической продуктивности и урожайности их, степени и характера зараженности различными болезнями и вредителями приобретает важное местное и глобальное значение. Установление связей между структурами водного баланса и биологической продуктивности сельскохозяйственных культур также может иметь важное значение для прогноза засух и их влияния на ожидаемую продуктивность. Наконец, по космическим снимкам возможно уточнять распределение растительности и выявлять его закономерности более точно, чем это допускают наземные методы. Выявление характера растительности по аэрокосмическим снимкам позволяет диагностировать климатические и почвенные особенности их формирования, а также судить о их зависимостях от других природных показателей.

В изучении снежного покрова и ледников с помощью дистанционных измерений можно достигнуть еще больших успехов, чем в других областях. Аэрокосмические съемки позволяют фиксировать действительное состояние снежного покрова и ледников в целях определения снегозапасов и их динамики. На основе этих данных представляется возможным прогнозировать водность рек

снежно-ледникового питания, катастрофические подвижки ледников, крупные снежные лавины и обвалы. С помощью этих же методов возможно составление точного кадастра ледников и распространения сезонного снежного и ледового покровов, а также выявлять причины и степени концентрации твердых осадков в определенных условиях и изменения заснеженности в различных высотных поясах.

Преимущества аэрокосмических методов для гляциологических целей наиболее ясны и неоспоримы. С их помощью при известной повторяемости съемок возможно выявление динамики и эволюции оледенения и ритмики заснеженности. Дальнейшие методические работы несомненно позволят расширить сферу применения аэрокосмических методов в области гляциологии и значительно уточнить прогноз различных катастрофических явлений и процессов в горно-ледниковых областях и особенно прогнозирования водности рек ледникового питания.

Из задач изучения поверхностных и подземных вод аэрокосмическими методами можно назвать: проблемы подземных вод, состояние береговых линий, размеры наводнений, охрана и воспроизводство водных ресурсов, уточнение учета поверхностных и подземных вод; изучение водного баланса и гидроэнергетического потенциала; влияние деятельности человека на воды и водный баланс, на загрязнение вод и их охрану. Уже сейчас по космическим данным нашли практическое решение следующие задачи: оценка дождевого стока с водосборов в аридной зоне; определение площадей затопления речными паводковыми водами и загрязнение эстуариев и морских бухт. В дальнейшем представится возможным с помощью многоспектральной аппаратуры определение с высокой степенью точности проницаемых и непроницаемых поверхностей при оценке изменений на водосборах в связи с темпами урбанизации.

Не менее перспективны аэрокосмические материалы и для изучения почвенного покрова. По данным съемок возможно уточнение границ распределения почв разного генезиса и закономерностей их распределения. Радиозондирование перспективно для дистанционного определения влажности и запасов влаги, степени и характера засоления почв и др. Так же, как и во всех остальных областях, повторность аэрокосмических съемок дает возможность выявить и динамические элементы в географии и освоении почвенного покрова в различных целях.

Мы смогли дать лишь краткий обзор тех наиболее важных направлений и проблем в области географии, которые решаются и могут решаться с помощью аэрокосмических методов. Возможности их поистине неограниченны. С их помощью расширяются и в дальнейшем еще больше будут расширяться и углубляться наши знания во всех областях многогранной географической науки.

Особенность познания природы космическими средствами заключается, как неоднократно отмечалось выше, в глобальности,

в охвате всей Земли, что уже сейчас создало все предпосылки для развития космической картографии, основанной на совершенно новых видах изображения земной поверхности. Всем этим уже заложены прочные основы для развития нового направления — космической географии.

Особенностью этого направления является возможность непрерывной регистрации электромагнитного поля Земли с летательных аппаратов с последующей интерпретацией изображений и спектров земной поверхности. Исходя из имеющихся уже результатов исследований, главнейшими задачами космической географии на данном этапе можно считать изучение состава, строения, динамики и ритмики географической среды и закономерностей ее изменений.

Одновременно необходимо изучать формирование космического изображения земной поверхности; отражательные и излучательные свойства земных образований, влияние атмосферы на передачу изображений, закономерности оптической и геометрической генерализации, воздействие сезонных условий и освещенности на воспроизведение земной поверхности.

Несомненно, что с помощью разнообразных дистанционных методов космическая география в недалеком будущем может стать прогнозно-динамической наукой, обеспечивающей человечество информацией о состоянии воспроизводимых ресурсов, о динамике и перспективах распределения этих ресурсов.

С помощью аэрокосмических методов может быть существенно уточнен и насыщен новым содержанием разнообразный справочный картографический материал, включая и различного рода атласы. Не меньшее значение результаты аэрокосмических исследований могут иметь для планирования развития и размещения производительных сил общества и управления планомерным ростом современных городов, расширить и углубить обслуживание человека.

В заключение считаем необходимым отметить важность комбинации всемасштабных дистанционных методов фотосъемок с разных высот.

\*

*Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова*

## ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА (современное состояние)

Несмотря на громадные успехи космонавтики, съемка из космоса для изучения Земли еще не вышла из стадии экспериментальных работ. Начальный этап этого изучения был связан с появлением в 60-х годах фотоснимков, сделанных с пилотируемых космических кораблей, которые были подвергнуты многостороннему анализу для выяснения возможностей их использования в ис-

следованиях природных ресурсов Земли. В 70-х годах эти же исследования осуществлялись на орбитальных станциях и специальных автоматических спутниках. Объем новой информации, поставляемой космическими средствами, чрезвычайно велик. Достаточно напомнить, что к концу 1977 г. запущено: спутников серии «Космос» около тысячи, метеорологических спутников типа «Метеор» — 32, пилотируемых космических кораблей типа «Союз» — 26.

В современный период бурного развития космических методов каждый год знаменуется новыми запусками и съёмочными экспериментами, приносит новые разновидности снимков и открывает новые сферы их применения. Поэтому интересно рассмотреть современные тенденции в применении космических средств для изучения Земли за последние годы.

В 1971, 1972 гг. в околоземном космическом пространстве работали первая долговременная научная орбитальная станция «Салют» и американский ресурсный спутник ЕРТС-1 (23 июля 1972 г.). Однако результаты обработки полученных при этом материалов появляются с 1973 г., поэтому целесообразно начать обзор с этого времени.

1973 год. В этом году осуществлены запуск американской орбитальной станции «Скайлэб» и полет двух советских космических кораблей «Союз-12» и «Союз-13». Как в Советском Союзе, так и в США ведущим методом изучения природных ресурсов из космоса становится многозональная съёмка.

В течение 1973 г. продолжал функционировать ресурсный спутник ЕРТС-1 (Earth Resources Technological Satellite), основная задача которого заключалась в определении возможностей дистанционного изучения природной среды, требований к аппаратуре и системам управления. Спутник был выведен на субполярную орбиту и обеспечил получение снимков с хорошим разрешением для любых районов Земли с 20-кратным повторением съёмки в течение года. Основной поток информации был получен 4-канальным сканером, который снимает сравнительно узкую полосу земной поверхности шириной 185 км с элементом разрешения 80 м. Кроме производства съёмки спутник осуществляет сбор данных о состоянии почв, водоемов и атмосферы от 150 наземных автоматических станций, расположенных на территории США, Канады, Мексики, в Атлантическом и Тихом океанах. Материалы съёмок с ЕРТС-1, которые с 1973 г. принимались тремя станциями в США и одной в Канаде, сосредоточиваются в НАСА. Снимки со спутника ЕРТС-1 широко рекламируются и активно распространяются НАСА на определенных условиях во всём мире. Выпущены торговые каталоги снимков ЕРТС-1, в 30 городах открыты специальные бюро по их распространению. В 1973 г. было продано снимков на 1 млн. долл. Только нефтяные

кампании США закупили 45 тыс. снимков. НАСА поставляет потребителям трансформированные контактные (М 1:3 369 000) и увеличенные (М 1:1 000 000—1:250 000), черно-белые зональные и синтезированные цветные снимки. Исходные снимки преобразуются в проекцию Меркатора, специально доработанную для проекта ЕРТС. Геометрическая точность снимков, полученных многозональным сканером, характеризуется ошибками: после предварительной обработки — 0,5 км, после точной — 0,1 км.

Работы по использованию снимков с ЕРТС-1 в различных областях исследований природных ресурсов были подготовлены предшествовавшими программами экспериментальных многозональных съемок с КК «Аполлон-9» и самолетов-лабораторий. Практическое использование снимков с ЕРТС-1 началось прежде всего в области сельскохозяйственных исследований: оперативного картографирования использования земель, при котором удается выделить до 15 категорий сельскохозяйственных земель с точностью 79—83%, для решения вопросов регионального планирования, а также изучения сезонной динамики растительности пастбищ. Другая часть исследований, проводившихся по первым снимкам с ЕРТС-1, относится к изучению геологии и гидрогеологии пустынных районов Атакамы (Южная Америка), субарктических и арктических районов Аляски и Исландии. Гидрологическим исследованиям посвящена работа по изучению водохранилищ в Канзасе. Разнообразны примеры возможностей использования снимков ЕРТС-1 в океанологических целях. Эти исследования, выполненные в первые месяцы работы спутника ЕРТС-1, имеют предварительный характер, но большинство из них дает весьма оптимистическую оценку перспективам использования снимков с этого спутника, по результатам дешифрирования которых оцениваются возможности метода многозональной съемки. Имеются сведения об информативности снимков, полученных в различных зонах спектра, при решении разнообразных научных и практических задач. Например, для изучения таяния снежного покрова эффективно сравнение снимков в видимом и ближнем ИК-диапазоне — в интервалах 0,5—0,6 и 0,8—1,1 мк. Для изучения лесов и загрязнения атмосферы наиболее эффективен диапазон 0,8—1,1 мк, для исследования берегов, водной поверхности и прибрежной зоны морей — 0,5—0,6 мк. Для подводных съемок целесообразно использование еще более коротковолнового диапазона — например, для этих целей рекомендуется двухслойная (0,48 и 0,55 мк) спектральнозональная пленка.

14 мая 1973 г. на орбиту была выведена космическая станция «Скайлэб», затраты на запуск которой составили 2,5 млрд. долл. Наклонение орбиты станции «Скайлэб» около 55°, т. е. почти такое же, как и у советской орбитальной станции «Салют», а высота больше (433—707 км). Для проведения ресурсных исследований на станции была установлена аппаратура для получения многозональных снимков — 13-канальный сканер (12 каналов

в диапазоне 0,41—2,35 мк, 13-й в зоне 10,2—12,5 мк) и 6-камерный фотоаппарат с  $f=152$  мм и размером кадра  $70 \times 70$  мм. Четыре камеры предназначены для фотосъемки в зонах спектра, аналогичных зонам сканера ЕРТС-1, две другие — для съемок на цветную и ИК-пленки. Космонавты располагали также фотокамерой с  $f=460$  мм и размером кадра  $115 \times 115$  мм для съемок на черно-белую, цветную и ИК-пленки. Снимки со «Скайлаба» поступают в НАСА и только после первичной обработки и по разрешению НАСА передаются потребителям.

Съемки с ЕРТС-1 и станции «Скайлаб» в методических целях сопровождаются аэрофотосъемками и наземными обследованиями, которые выполняются в США на специально созданных полигонах. Так, в течение всего периода работы ЕРТС на 50 полигонах двумя самолетами-лабораториями проводилась многозональная съемка с высоты 20 км.

В 1973 г. продолжали функционировать метеорологические спутники, программы которых значительно обогатились за счет экспериментов по исследованию природных ресурсов, в частности, океанологических. Снимки со спутника NOAA-2 используются для изучения морских льдов в Гудзоном заливе и ледового покрова Антарктиды. Эксперименты спутника «Нимбус-4», связанные с изучением ледового покрова в арктических водах и изучением степени загрязнения и состава речных и озерных вод (на оз. Эри и Онтарио и р. Майами), сопровождаются запусками специальных буев с научной аппаратурой для измерения температур воды, ее состава, электропроводности. Эксперимент по изучению вулканической активности на Гавайях также потребовал установки на активном вулкане датчиков, измеряющих температуру. Запущенный в начале 1973 г. ИСЗ «Нимбус-5» впервые нес на себе микроволновый радиометр, позволяющий измерять температуру сквозь облачный покров. Как показали предварительные самолетные исследования, этот вид индикации перспективен также для определения волнения моря, приповерхностных ветров и возраста морских льдов. Экономическая эффективность метеорологических ИСЗ оценивается довольно высоко: если в 1972 г. на них было затрачено 81 млн. дол., то за этот же период сэкономлено благодаря им 584 млн. долл.

Программа пилотируемых полетов космических кораблей «Союз-12» и «Союз-13» предусматривала, наряду с другими видами исследований, выполнение многозонального фотографирования и спектрографирования поверхности Земли. Последнему виду исследований у нас в стране уделяется большое внимание. Объектами спектрографирования являются как земная поверхность, так и атмосфера Земли, а также звезды. Еще раньше, при полете «Союза-5», было установлено, что регистрация спектров сумеречного ореола Земли позволяет получить данные об особенностях запыленности атмосферы на различных высотах и в раз-

ных районах земного шара. На КК «Союз-12» и «Союз-13» выполнялась широкая программа спектрографирования звездного неба, в частности кометы Когоутека. Многозональная съемка земной поверхности выполнялась с этих кораблей 9-объективной камерой с  $f=40$  мм и размером кадра  $24 \times 32$  мм (снимки М 1:8 000 000) и другой аппаратурой. Фотографирование проводилось на черно-белые пленки разной спектральной чувствительности и цветные спектральнозональные пленки.

Таким образом, в конце 1973 г. с КК «Союз-12» и «Союз-13» получены советские многозональные космические снимки. Уместно отметить, что первые работы в области многозональной съемки, широко внедрившейся в аэрокосмические методы в последнее десятилетие, особенно в исследованиях, проводимых США, выполнены в Советском Союзе, где в 50-х годах был разработан многообъективный аэрофотоаппарат (Заитов, Цупрун, 1962), а еще ранее начато обстоятельное изучение спектральной яркости различных образований земной поверхности (Кринов, 1947; Зайцев, Мухина, 1966).

Большую методическую ценность имеют синхронные наблюдения с самолета и космического аппарата, реализация которых на практике, несмотря на простоту идеи синхронных наблюдений, является сложной проблемой. В США НАСА использует для подспутниковых наблюдений высотные самолеты. В июле 1973 г. в течение часа проводились синхронные съемки со «Скай-лаба», ЕРТС-1, высотного и низколетающего самолетов и наблюдения на земной поверхности (в штате Индиана).

Летом 1973 г. в Советском Союзе Институтом космических исследований АН СССР при участии целого ряда ведомств и организаций проведен самолетный эксперимент по многозональной аэрофотосъемке полигонов, сопровождавшийся наземными обследованиями. Специально оборудованный самолет-лаборатория Ил-14 располагал многозональной аэросъемочной аппаратурой, состоящей из 6 малоформатных аэрофотоаппаратов ( $f=100$  мм, формат кадра  $70 \times 80$  мм), 9-объективной камерой, аналогичной установленным на КК «Союз-12, -13», 4-канальным сканирующим устройством с записью изображения на магнитную ленту в цифровой форме и другими видами аппаратуры. Основная масса снимков была получена с помощью многозональной аэрофотоаппаратуры (М 1:40 000). Наземные обследования, сопровождавшие самолетный эксперимент, преследовали цель изучения объектов съемки в момент их фотографирования для того, чтобы обеспечить в дальнейшем дешифрирование и оценку многозональных снимков. Материалы съемок с самолета-лаборатории используются организациями — участниками эксперимента для оценки возможностей и путей использования многозональных снимков при решении научных и практических задач.

Помимо светового диапазона электромагнитных колебаний, в США и СССР активно ведутся работы по использованию тепло-

вой ИК-съемки (особенно актуальной в связи с проблемой облачности), которая позволяет фиксировать термальные зоны на поверхности моря и суши,— для создания тепловых карт вулканов, гидрологических карт, в почвенных исследованиях и т. д. По ИК-снимкам с «Нимбуса-3» были выявлены площади загрязнения прибрежных вод (без определения вида загрязнения) в морях Северной Европы. При этом отмечено преимущество использования малого окна прозрачности атмосферы (3,4—4,1 мк) по сравнению с большим (10—12 мк). Установленные на спутниках приемники радиации, чувствительные в областях спектра 0,4—1,1 и 8—13 мк, позволяют в ночных условиях зарегистрировать свет городов, свечение полярных сияний, очаги больших пожаров, места сжигания газовых отходов. Производится их сопоставление с картами плотности населения. Микроволновая съемка со спутника «Нимбус-5», впервые оборудованного датчиком, работающим в диапазоне 1,55 см, дала картину распределения многолетних и однолетних льдов во всем Северном Ледовитом океане.

Для обеспечения космических экспериментов съемочной аппаратурой как в СССР, так и в США идут интенсивные исследования по разработке сканирующих устройств. Из фотографических съемочных камер наилучшим образом зарекомендовали себя камеры шведской фирмы Хассельблад, которые издавна использовались в полетах по программам «Джемини», «Аполлон» и используются на «Скайлэбе». Однако и визуальные наблюдения из космоса не потеряли своего значения. Космонавты отмечают увеличение остроты зрения в условиях космического полета. Именно визуальные наблюдения явились источником зарегистрированного в 1973 г. открытия вертикальнолучевой структуры дневного излучения верхней атмосферы Земли, сделанного группой советских космонавтов и ленинградских ученых.

В области разработки обрабатывающей аппаратуры характерно появление серии приборов, главным образом американских и японских, а в настоящее время и ГДР, для синтеза цветного изображения и для дешифрирования многозональных снимков на базе цветового разделения плотности изображения. Как простой способ преобразования снимков, облегчающий их дешифрирование, применяется печать так называемых эквиденсит с помощью пленки «Алфа-контур», позволяющей производить цветное выделение ступеней оптической плотности. В области автоматического дешифрирования по сравнению с прошлыми годами существенных успехов не достигнуто, хотя многие усилия концентрировались в этом направлении.

Исследования других стран, помимо СССР и США, носили более скромный характер. По результатам запуска английской ракеты «Скайларк» для изучения ресурсов делается вывод о том, что этот вид носителей не изжил себя. Съемка с ракет отличается большей мобильностью и в этом отношении имеет определенные преимуще-

щества перед съемкой с ИСЗ; по экономичности она сравнима с аэрофотосъемкой.

В 1973 г. продолжались работы по международному сотрудничеству, примером которого может служить советско-американская экспедиция «Беринг», в которой принимали участие корабли и самолеты СССР и США, моделировавшие работу ИСЗ Земли. В течение 3 недель члены экспедиции вели аэрофотосъемку льда и свободной поверхности моря, получали микроволновое (радиотепловое) и радиолокационное изображение. Подтвердилось, что радиотепловое изображение льдов и моря содержит информацию, которую не дают другие изображения (например, эта информация позволяет определить возраст льда).

Рассматриваемые вопросы обсуждались на ряде международных и более узких форумов. В октябре 1972 г. состоялся VIII Международный симпозиум по дистанционным методам в Эйн-Арборе (США), где было заслушано более 200 сообщений, в том числе 10 от Советского Союза. В октябре 1973 г. в Баку был созван XXIV конгресс Международной астронавтической федерации (МАФ) под девизом «Космические исследования — влияние на науку и технику». В нем приняло участие 1,5 тыс. представителей из 30 стран.

5386  
Одно из центральных мест в программе принадлежало проблемам использования космических методов для изучения окружающей среды и природных ресурсов Земли. Этой же проблеме была посвящена встреча советско-американской рабочей группы по исследованию природной среды средствами космической техники, состоявшаяся в Москве в феврале 1973 г. В конце сентября 1972 г. и в марте 1973 г. в США созывались симпозиумы НАСА, специально посвященные обработке материалов с ЕРТС.

**1974 год.** Продолжается планомерное развитие работ по изучению природных ресурсов с использованием материалов, полученных средствами космической техники, включая обработку данных многозональной съемки.

В этом году осуществлены запуск научной орбитальной станции «Салют-3», полет пилотируемых космических кораблей «Союз-14» — «Союз-16»; завершен первый этап работы орбитальной станции «Скайлэб», продолжал функционировать ресурсный спутник ЕРТС-1. Главное содержание научных исследований составляет обработка массовых материалов многозональной космической съемки, полученных в 1973 г.

На запущенном 9 июля 1974 г. 18-ом спутнике серии «Метеор» установлена многозональная сканирующая аппаратура для получения изображений земной поверхности. Для сканеров выбраны те же 4 спектральных диапазона (в зеленой, красной и ближней ИК-зонах), которые используются на спутнике ЕРТС-1, хотя ленинградскими учеными высказывалось мнение о том, что эти зоны не являются оптимальными (Кондратьев и др., 1974); сканирующее устройство 18-го спутника «Метеор» — малого раз-

решения, работающее в режиме как непосредственной передачи, так и запоминания. Съемкой охвачены значительные территории Советского Союза, прилегающих районов, а также Антарктиды. Комплекты зональных черно-белых снимков оперативно передавались потребителям для визуального дешифрирования с целью оценки и практического использования.

На космических кораблях «Союз-14, -16» и орбитальной станции «Салют-3» выполнялись программы спектрографирования и съемки земной поверхности на различные типы черно-белых, цветных и спектрзональных пленок в порядке дальнейшей обработки методики съемки в геолого-географических целях.

В феврале 1974 г. закончилась 271-дневная программа работ орбитальной станции «Скайлэб». На эксперименты по изучению природных ресурсов было выделено относительно скромное время (101 час), в результате получено более 46 тыс. снимков на районы США (31 штат), Пуэрто-Рико, Мексики, Бразилии, Колумбии, Никарагуа, Боливии, южную часть Канады и др., а также акватории Тихого и Атлантического океанов. Вышли десятки публикаций о приборном оснащении и работе станции «Скайлэб». Однако в печати не появилось существенных работ по оценке и использованию полученных снимков, за исключением иллюстративных примеров, хотя в США в 1974 г. состоялся симпозиум по выполнению программ «Скайлэба». Сообщалось, что снимки переданы 850 американским и иностранным специалистам, обработка материалов съемки ведется под контролем НАСА.

Большое количество исследований посвящено работе со снимками со спутника ЕРТС-1, с которого к началу 1974 г. было получено 200 тыс. снимков, покрывших полностью территорию США и три четверти суши земного шара. 1974 г. — год массовой обработки снимков с ЕРТС-1. В США она ведется многочисленными отраслевыми организациями и университетами, работающими по контракту с НАСА. Кроме специально организованных конференций по ЕРТС-1, эти результаты докладывались и на других крупных форумах — IX Мичиганском симпозиуме по исследованию природной среды дистанционными методами в апреле 1974 г., Пан-Американском симпозиуме по дистанционным методам, XVI пленуме КОСПАР (ФРГ), изданные материалы которого появились в 1974 г., XVII пленуме КОСПАР в Бразилии. При громадном многообразии направлений использования этих снимков выявляется, что основное их применение — составление по ним различных тематических карт, возможность которого обусловлена достаточно хорошим разрешением, высокой информативностью цветных синтезированных снимков, полнотой покрытия территории и тем, что система обработки предусматривает перевод изображения в картографическую проекцию. Использование съемки с ЕРТС-1, как многозональной (с анализом «спектрального образа» объектов, т. е.

вариаций яркости их изображения в различных зонах спектра, как дополнительного дешифрировочного признака), не оказалось первостепенным, как это предполагалось первоначально. Все более четко выявляются те реальные направления, в которых использование многозональной съемки действительно эффективно. По снимкам ЕРТС-1 создана фотокарта на всю территорию США и Аляски. Монтаж фотокарты США из 595 снимков в М 1:1 000 000 выполнен за 5 месяцев; стоимость ее создания — 65 тыс. долл. Смонтированы и изданы фотокарты отдельных штатов, используемые их администрацией для управления и планирования. Для практических целей создаются и так называемые карты использования земель, для составления которых отрабатывается методика автоматизированного выделения определенных категорий земель на основе анализа плотности зональных изображений.

По снимкам таким образом удастся выделить до 22 категорий использования земель — воды, леса, сельскохозяйственные земли, дороги, городские территории и т. п., — получая цифровые или красочные карты, что было сделано, например, для Калифорнии и других районов США.

Предполагавшееся ранее автоматизированное составление оперативных сельскохозяйственных карт с опознаванием по снимкам культур (по различиям плотности зональных изображений) пока до практического использования не доведено. В предшествующие годы было установлено, что благодаря различиям в изображении посевов сельскохозяйственных культур (зерновые, соя, кукуруза, озимая пшеница, рис, хлопок) на разных стадиях вегетации существует потенциальная возможность прогноза урожая. Она подтверждена, например, при использовании снимков юго-восточной части штата Канзас с ЕРТС-1 для оценки урожая озимой пшеницы; различие с оценкой, полученной статистической службой Министерства земледелия, составило всего 3%. Однако автоматизированной системы оперативного прогноза урожая пока не создано.

Значительно расширились с появлением снимков с ЕРТС-1 работы в области использования снимков для изучения береговой зоны и акватории морей. В этом направлении многозональная съемка дает наибольший эффект. Исследования по ее использованию направлены на изучение ландшафтов затопляемых территорий — маршей, главным образом, их растительности, для картографирования которой используются автоматизированные методы. Различная глубина проникновения солнечных лучей разной длины волны открывает возможность использования многозональных снимков для определения глубин, правда, лишь в мелководной зоне. Другое практически важное направление — исследование биологической продуктивности океана. Натурные наблюдения, сопровождавшие съемку с ЕРТС-1, показали, что при низких концентрациях хлорофилла существуют трудности в разделении изображе-

ния биологических компонентов от пены и бликов, но при содержании хлорофилла более  $0,1 \text{ мг/м}^3$  снимки могут быть использованы в дополнение к другим исследованиям биологических ресурсов моря. При анализе изображения взвешенных наносов в устье р. Потомак, показавшем наибольшую эффективность использования для этих целей спектральной зоны  $0,6-0,7 \text{ мк}$ , удалось разделить воды с низким, средним и высоким содержанием наносов. По снимкам с ЕРТС-1 решается и ряд других океанологических задач: определены границы течения Луп в Мексиканском заливе, исследовано движение воды в эстуариях Аляски, определена граница пресных речных и соленых морских вод у Тихоокеанского побережья Северной Америки. Ряд работ посвящен вопросам, связанным с рыбным хозяйством и рыболовством. Новые возможности открывает многозональная съемка при изучении морских льдов, позволяя выделить тающие льды с мокрой поверхностью, изучать морфологию и распределение битых льдов. Поэтому снимки с ЕРТС-1 представляют хорошее дополнение к материалам, получаемым с метеоспутников для изучения ледовой обстановки морей. Снимки полярных районов использованы для создания по ним фотокарт, в частности карты Земли Королевы Виктории  $M 1 : 1\,000\,000$  и др. районов Антарктиды, исправления изданных ранее карт  $M 1 : 250\,000$ , определения изменений в границах крупнейших ледниковых шельфов мира.

В исследованиях снежного покрова также отмечается эффективность применения съемки в разных зонах спектра: при картографировании снежного покрова Швейцарских Альп сравнение снимков многозонального сканера в диапазонах  $0,5-0,6$  и  $0,8-1,1 \text{ мк}$  позволило разделить изображение свежего сухого снега и старого снега, влажного и тающего; тот же эффект отмечен при изучении снежников в горных районах Канады.

Канадской лесной службой проведен широкий комплекс исследований по лесотаксационному дешифрированию снимков ЕРТС-1 в Британской Колумбии, Альберте, окрестностях Оттавы. Для изучения породного состава и таксационных характеристик лесов съемка с ЕРТС-1 в разных зонах спектра не оказалась эффективной. Разделяются лишь типы леса при общей смене экологических условий; выделение возрастных групп леса возможно лишь с  $20-30$ -летним интервалом.

Несмотря на то, что отмечаются большие возможности космической техники для решения экологических проблем глобального масштаба, существенных практических работ в этой области пока не появилось. Исследования на современном этапе носят локальный характер и задача глобальной фиксации загрязнений природной среды, различных видов антропогенного воздействия на нее и оценки ограниченных ресурсов нашей планеты остается делом будущего.

В Советском Союзе идут работы в целом в тех же направлениях применения многозональной съемки, и выявляющиеся об-

ласти ее эффективного использования аналогичны — сельское хозяйство, исследование состава поверхностных отложений, в частности, засоления почвообразующих пород, комплексное изучение акваторий. Правда, публикации по многозональным материалам появились к 1974 г. лишь по последнему вопросу. По снимкам с КК «Союз-12» на мелководную зону Каспия удалось выделить изображение подводной растительности, различных форм донного рельефа и составить карту подводных ландшафтов мелководной акватории (Кравцова, Антонова, 1974). Многосторонность исследований, проводимых в нашей стране по материалам космических съемок, отражена в появившихся публикациях по комплексному географическому дешифрированию, а также ряде отраслевых работ, например, по применению космической съемки в почвоведении, однако, основную массу публикаций составляют работы геологической направленности. Геологи оказались в нашей стране основными потребителями космических снимков. Геологические организации переходят к широкому практическому созданию фотогеологических карт по космическим снимкам, считая, что при региональных геологических работах новый метод картографирования позволит сократить стоимость работ по геологической съемке, обновлению, составлению сводных геологических карт и ускорит выполнение этих работ. Использование космических снимков заставило пересмотреть взгляды на геологическое строение крупных регионов страны, в том числе считавшихся хорошо изученными. Этому способствовало поначалу вынужденное использование для геологических целей телевизионных снимков метеоспутников. По их монтажах — телефотосхемам — установлена огромная роль крупных глубинных разломов на территории Западно-Сибирской низменности, что по-новому определяет направления дальнейших поисковых работ.

Отличительную особенность исследований советских геологов составляет их методическая направленность, глубокая разработка вопросов методического характера. С успехом используя не только фотографические, но и телевизионные снимки, советские геологи выдвинули ряд новых положений — об увеличении «глубинности» исследований с переходом к более мелкомасштабным и обзорным изображениям (Макаров и др., 1974); об «уровнях генерализации», т. е. получении качественно новой информации со снимков при изменении их масштабов в 4—5 раз (Скарятин, 1973).

При космической съемке экранирующее влияние облачности оказалось более серьезной проблемой, чем предполагалось ранее. Закрытие облаками земной поверхности не только ограничивает получение снимков на требуемые районы, но и снижает эффективность работы аппаратуры спутников на 50—70%, приводя к неполному выполнению намеченных программ на пилотируемых космических кораблях и орбитальных станциях. В связи с этим в программу исследования природных ресурсов на «Скайлабе» вхо-

дило специальное изучение облачного покрова, как препятствия к производству наблюдений и съемок земной поверхности. Статистическая обработка наблюдений метеоспутников позволила провести глобальное районирование в зависимости от покрытия земной поверхности облачностью с учетом ее вариаций для 12 месяцев и изменений в течение суток. Наиболее благоприятными для съемок являются районы Северной Африки, Мексики, Центральной Австралии (1—2-я градации шкалы), наименее благоприятными — Антарктида, полоса вдоль южного тропика (24—29-я градации). Советский Союз, страны Западной Европы и Северной Америки попадают в средние условия (9—11-я градации).

Продолжаются съемки полигонов с самолетов-лабораторий в Советском Союзе, начатые рядом ведомств с 1973 г. В 1974 г. в качестве летающих лабораторий стали использовать самолеты Ан-30.

Хотя основные запуски космических аппаратов для изучения исходных материалов осуществляются в двух странах — СССР и США, но многие страны ведут методические работы, в частности, проводят самолетные эксперименты. Особенно активные исследования по методике дешифрирования проводятся во Франции, где для производства съемки используют не только самолеты, но и воздушные шары, аэростаты.

Расширяется международное сотрудничество в космических исследованиях и, в частности, в изучении природной среды космическими средствами. В апреле 1974 г. в Вашингтоне состоялась очередная советско-американская встреча по исследованию природной среды космическими средствами. Летом 1974 г. в водах Атлантики проводился международный эксперимент по исследованию взаимодействия океана и атмосферы в тропических широтах — «Тропэкс». Наблюдения советских и американских судов сопровождалась съемкой со специально запущенного геостационарного спутника SMS, обеспечивавшего ежедневное прослеживание облачности и съемку ее динамики с 20-минутным интервалом. Совместные космические исследования земных ресурсов ведутся и в рамках социалистического сотрудничества.

Работы по применению космических методов в исследованиях природных ресурсов Земли и планет широко освещаются в печати. Кроме публикаций в специальных журналах и ежегодниках следует указать на ежегодно выходящие тома материалов тематических конференций и симпозиумов. Для широкого читателя очень важен выпуск альбомов, включающих космические снимки. Такие альбомы снимков выпускались ранее в США и ФРГ. В 1974 г. в ФРГ вышущено очередное издание книги «Космический обзор Земли» с новым большим набором снимков, главным образом с ЕРТС-1 и «Скайлэба», схемами дешифрирования и текстом научно-популярного характера.

У нас в стране появляются обзорные, обобщающие работы и работы широкого методического плана. Комиссия по исследованию

природной среды космическими средствами при президиуме АН СССР начала публиковать серию тематических сборников, посвященных исследованию природной среды космическими средствами по материалам советско-американского сотрудничества. Геологическому применению космических методов посвящены специальные выпуски журнала «Изв. ВУЗов. Геология и разведка».

1975 год. Выполнялись насыщенные и разнообразные программы исследований в полетах как пилотируемых, так и автоматических космических аппаратов. Знаменательные вехи этого года — первый в истории космонавтики совместный полет космических кораблей СССР и США по программе «Союз — Аполлон», полеты советских пилотируемых космических кораблей «Союз-17» и «Союз-18» и работа их экипажей на борту орбитальной станции «Салют-4», запуск в США второго спутника для исследования природных ресурсов Земли «Ландсат-2» (22 января).

По программе «Союз — Аполлон» (проект ЭПАС) в комплексе с другими экспериментами в совместном полете выполнялось и фотографирование поверхности Земли в целях изучения земных ресурсов. Проект ЭПАС, ставший символом международной разрядки, положил начало международным работам в космосе, заложил хорошую основу для объединения усилий разных стран в освоении космического пространства.

Советская космическая программа в 1975 г., кроме совместного полета, включала несколько пилотируемых полетов с большим объемом разнообразных исследований, среди которых значительное место отводилось исследованиям земных ресурсов. На запущенной 26 декабря 1974 г. орбитальной станции «Салют-4» в течение года работали две экспедиции — зимняя (экипаж «Союза-17») и летняя (экипаж «Союза-18»). Первая в январе — феврале 1975 г. выполнила на борту орбитальной станции «Салют-4» 30-суточную программу исследований, включавшую наряду с другими видами работ также изучение и съемку земной поверхности, проводившиеся в условиях зимнего ландшафта. 24 мая состоялся запуск космического корабля «Союз-18», экипаж которого провел 2-месячную вахту на борту орбитальной станции «Салют-4».

Для съемки и спектрографирования земной поверхности использовалась аппаратура, позволившая получить снимки разных масштабов и детальности в черно-белом, цветном, спектрально-зональном и многозональном вариантах. Несколько дней было выделено специально для выполнения съемочных программ. Получен очень большой объем материалов, обеспечивших значительное площадное покрытие южных районов нашей страны.

Для исследований США в последние годы характерна тенденция перехода от пилотируемых к автоматическим космическим аппаратам, более дешевым. Пилотируемый полет по программе

«Союз — Аполлон» был последним полетом человека в космос по американским программам на текущее 10-летие. В 1975 г. из 25 запусков, осуществленных НАСА, 24 были беспилотными, из них 6 направлены на изучение Земли: 1 осуществлен для исследования земных ресурсов, 1 — для океанографических исследований, 4 — для исследований погоды, климата и загрязнения атмосферы Земли.

Оборудование спутника «Ландсат-2», как и ЕРТС-1, состоит из 3 телевизионных камер и многоспектральной сканирующей системы, дающей изображения в четырех зонах спектра (0,5—0,6, 0,6—0,7, 0,7—0,8, 0,8—1,1 мк). В течение рабочей недели осуществляется запись 1300 изображений и сбор информации от автоматических станций — платформ на земной поверхности. Орбита спутника «Ландсат-2» сдвинута на 180° по сравнению с орбитой ЕРТС-1 для того, чтобы в процессе работы обоих спутников обеспечить повторение съемок земной поверхности через 9 сут. Программа использования снимков спутника «Ландсат-2» предусматривает сужение областей применения его данных — вместо 320 официально объявленных исследований по программе ЕРТС, программа включает 109 задач, из которых 57 касаются США, 52 — других стран.

Основные исследования направлены на определение степени и скорости созревания сельскохозяйственных культур, увеличение точности предсказания сроков уборки урожая (эксперимент по учету урожая на больших площадях), изучение пастбищ, картографирование почвенного покрова всей Южной Америки, изучение геологического строения и месторождений полезных ископаемых, гидрологические и океанографические исследования, изучение состояния ледового покрова в районе Аляски, метеорологические исследования, изучение загрязнений природной среды, в частности, содержания в атмосфере аэрозолей.

Первоначально предполагалось, что спутник «Ландсат-2» должен работать в течение 1—2 лет, но теперь считается необходимым, чтобы он продолжал функционировать более длительное время.

Исследованиям окружающей среды способствуют и продолжающиеся запуски новых все более совершенных метеорологических спутников. С 11 июля 1975 г. в СССР начала работать новая вторая серия метеорологических спутников «Метеор-2» с усовершенствованной аппаратурой. В США запущен очередной спутник «Нimbus-6».

Для продолжительных исследований динамичных явлений, в частности, атмосферных процессов над определенными районами Земли, используются геосинхронные спутники, примером которых служит американский спутник SMS-2 над Тихим океаном.

Хотя, как следует из изложенного, исследованиям современного состояния природной среды из космоса уделяется в последние годы большое внимание, значительные силы США направляют сейчас на обеспечение будущих исследований. Об изменениях в объеме

и направлениях космических исследований НАСА в последние годы свидетельствуют ассигнования на эти исследования, общая сумма которых составила в 1975 г. 3081 млн. долл. (на 153 млн. больше, чем в 1974 г.).

Исследования по применению материалов космических съемок для изучения окружающей среды и природных ресурсов шли в направлении освоения огромного материала съемок, полученного в предшествующие годы, главным образом, со спутника ЕРТС-1 и частично — с орбитальной станции «Скайлэб». Поток публикаций по результатам этих исследований, максимум которого достиг в первый и второй годы работы спутника ЕРТС-1 (1973—1974 гг.), когда собирались специальные симпозиумы по оценке этих материалов, несколько уменьшился. Большое число отчетных материалов, поступающих от организаций — участников программы ЕРТС и НАСА, тиражируется в небольшом количестве и не поступает в широкое пользование.

Из новых аспектов отраслевых применений следует обратить внимание на работы, связанные с поисками новых месторождений полезных ископаемых по характеристикам спектральной яркости рудосодержащих пород, проявляющимся в соотношении яркости изображения идентичных объектов в разных спектральных диапазонах.

Многоязычная съемка открыла широкие возможности для изучения водных объектов, и большое число публикаций связано с исследованиями глубин, течений, мутности вод, содержания хлорофилла, проводившимися по снимкам с ЕРТС на Мексиканский залив, северо-западное побережье Африки, залив Делавер и др. Широкий комплекс исследований водных ресурсов, включая изучение подземных и поверхностных вод, проведен в Канаде, где снимки с ЕРТС-1 используются для составления гидрогеологической карты Северной Канады, картографирования поверхностных водоемов и получения некоторых данных о качестве воды в них, изучения седиментации в реках и озерах, определения линз подземных вод, изучения районов их накопления и сбросов. По-прежнему ведутся работы по использованию космической информации в сельскохозяйственных целях. Они направлены на автоматизацию инвентаризационного картографирования сельскохозяйственных земель, определение фенологических фаз развития растительности, состава, состояния сельскохозяйственных культур, автоматизацию картографирования почвенно-растительного покрова. Несмотря на определенные успехи в этой области — автоматизированное создание карт использования земель для некоторых штатов, достаточно достоверное разделение основных групп сельскохозяйственных культур (с точностью до 98%), — широкого практического внедрения эти экспериментальные работы все же пока не получают. В то же время можно считать отработанной систему автоматического составления карт динамики снежного покрова, которые представляют собой фотокарты, монтирующиеся из серий снимков

для крупных регионов сразу в картографической проекции; при этом снимки с метеоспутников (например, ESSA-9) обрабатываются с использованием метода выбора минимальной яркости за 5-дневные периоды для фильтрации изображения облачности. Такая автоматизированная система применяется для решения вопросов снежной гидрологии.

Новым для последних лет является анализ геометрической точности космических снимков и оценка возможностей их картографического применения. В результате этого анализа пересмотрен первоначальный скептический взгляд в отношении плановой точности изображений, получаемых многозональным сканером спутника ЕРТС-1, относительные ошибки положения точек на которых составляют 50—100 м. В порядке подготовки к работе со снимками спутника «Ландсат-2» произведена модификация системы обработки снимков многозонального сканера, в частности, усовершенствован процесс точной картографической обработки изображений.

В Советском Союзе работы по применению космических методов для исследований природной среды начинают сосредотачиваться вокруг двух центров — ГосНИЦ ИПР (ГКГМП) и «Природа» (ГУГК). Оперативная информация о земной поверхности, поступающая с 18-го спутника «Метеор», применяется ГКГМП, главным образом, в интересах снежной гидрологии, ледовой разведки, сельского хозяйства. ГУГК завершает экспериментальный этап комплексных работ на одном из полигонов созданием на базе космических фотокарт серии специальных карт, главным образом, оценочных и природоохранительных. Геологи сопровождают работу по использованию космических снимков фундаментальными методическими проработками, полигонными наземными и съёмочными работами с использованием всех имеющихся сейчас видов съёмочной аппаратуры. Ими установлено, что космические снимки разных типов несут принципиально новые виды информации (по сравнению с аэрофотосъёмкой) — обзорность и генерализованность изображения позволяет изучать структурный скелет литосферы, «просвечивающее» глубинное строение. Пока в более скромных масштабах ведутся экспериментальные работы по применению материалов космических съёмок в лесном, сельском, водном хозяйстве, где исследования пока еще находятся на экспериментальном уровне.

Многочисленны примеры работ с космическими снимками в различных отраслях географических исследований, выполняемых Московским и Ленинградским университетами, Институтом географии АН СССР, но широкого практического применения такие работы пока не получили.

Продолжается сотрудничество различных стран в космических исследованиях. В июле и октябре 1975 г. в Москве и Вашингтоне состоялись две очередные встречи советско-американской группы

по исследованию природной среды космическими средствами. В мае в Баку проходила первая, а в ноябре — в Москве и Берлине — вторая встреча рабочей группы социалистических стран по исследованию природных ресурсов Земли из космоса.

Секция космических методов работала на VI Всесоюзной конференции по тематическому картографированию в Киеве в апреле 1975 г. Большое значение для советских исследователей имело проведение в марте 1975 г. в Звенигороде первой Всесоюзной школы «Исследование Земли из космоса», организованной Институтом космических исследований АН СССР.

Зарубежные публикации года были связаны, главным образом, с обработкой материалов со спутника ЕРТС-1 и орбитальной станции «Скайлэб». В добавление к чрезвычайно разносторонним примерам отраслевого использования снимков в последнее время значительное внимание в публикациях уделяется также методике работы с многозональными снимками, автоматизации их обработки, исследованию точности снимков с ЕРТС-1 и др. методическим вопросам.

В университете Санта-Барбара в Калифорнии подготовлена книга «Дистанционные методы», которая по замыслу авторов должна служить учебным пособием по этим курсам дистанционных аэрокосмических методов. В советских публикациях поток статей по различным отраслям применения космических снимков не столь велик, но для 1975 г. характерно появление нескольких сводных обобщающих и обзорных работ (Гонин, 1975; Кац и др., 1976; Кондратьев, 1975) и тематических сборников («Исследование природной среды космическими средствами». Т. IV, 1975; «Космические исследования земных ресурсов», 1976). Впервые выпущена книга «Терминология по природным ресурсам Земли», 1976, подготовленная ИКИ АН СССР; как результат советско-американского сотрудничества вышла книга по материалам эксперимента «Беринг».

Для подготовки кадров по работе с космическими снимками в ряде советских вузов вводятся курсы по космическим методам исследований и готовятся к выпуску учебные пособия. Использование космической информации вводится и в школьное образование — в 1975 г. успешно завершён проводившийся Научно-исследовательским институтом школ Министерства просвещения РСФСР эксперимент по применению космических снимков в преподавании природоведения и географии в 60-ти опытных школах.

Развитие работ по изучению окружающей среды космическими методами в Советском Союзе и США идет, в основном, в идентичных направлениях. К настоящему времени выкристаллизовались два основных конкурирующих вида космической съемки в оптическом и ближнем ИК-диапазоне — фотографическая и сканерная. В связи с развитием как в фотографическом, так и в

сканерном варианте нового прогрессивного вида съемки — многозональной — проводятся обширные исследования по изучению спектральной отражательной способности природных образований и влияния атмосферы на ее восприятие, по выбору для съемки оптимальных зон спектра и т. п. Таким образом, с большим размахом и на новом техническом уровне возобновились исследования, проводившиеся 20 лет назад в обоснование цветной и спектральнозональной аэрофотосъемки.

Для разработки методики дешифрирования космических снимков в США и СССР широко ведутся работы на полигонах, на которых проводятся комплексные исследования — космические, самолетные и наземные. Съемки с самолетов-лабораторий стали составной частью исследований природных ресурсов космическими методами. Самолетные эксперименты ставятся для отработки методики и аппаратуры космической индикации, но зачастую они имеют и самостоятельное значение. Трехъярусные — космические, аэро- и наземные исследования природной среды — особенно важны в методическом отношении.

Космические методы, рожденные научно-технической революцией, дополнили и расширили арсенал традиционных аэрометодов и сейчас с полным основанием можно говорить о зарождении аэрокосмических методов исследований Земли. В связи с развитием космических методов часто возникает вопрос о современном значении аэрометодов. Развитие исследований у нас в стране, в США, Франции и др. странах подтверждает, что космические методы не исключают и не заменяют аэрометодов. Более того, потребности прикладной космонавтики стимулируют дальнейшее развитие аэрометодов как одного из элементов трехъярусного изучения природных ресурсов.

Как подтверждает опыт применения космических методов, основным источником универсальной информации является снимок, видеoinформация. Космические снимки, так же как и аэроснимки получают в широком диапазоне масштабов. Наиболее употребительным масштабом для аэроснимков можно считать 1 : 20 000, а для космических снимков — 1 : 1 000 000. Можно считать, что масштабы аэроснимков и космических снимков образуют непрерывный ряд:

Масштаб	Аэроснимки	Космические снимки
крупный	1 : 10 <sup>3</sup>	1 : 10 <sup>5</sup>
средний	1 : 10 <sup>4</sup>	1 : 10 <sup>6</sup>
мелкий	1 : 10 <sup>5</sup>	1 : 10 <sup>7</sup>

Более мелкий по сравнению с аэрофотоснимками масштаб космических снимков и связанная с ним большая обзорность и фотографическая (оптическая) генерализация изображения оказались весьма существенным новым их качеством.

Первые положительные результаты использования космических снимков, полученных уже в начальный период изучения Земли из космоса, послужили основанием для предложения о создании постоянно функционирующей глобальной космической системы изучения земных ресурсов и контроля за окружающей средой. Создание такой системы, например, правительством США, возведено в ранг программы национальной политики. Несмотря на обширность выполняемых исследований к настоящему времени еще нет единого мнения относительно структуры будущей космической системы и нет полной ясности в отношении экономической ее целесообразности. Наиболее вероятно использование автоматических космических аппаратов двух типов — с низкими — 200—500 км, и высокими — порядка 1 000 км — орбитами. Первые характеризуются использованием фотографических систем с высоким разрешением, сравнительно кратковременным (1—3 недели) сроком функционирования и относительно малой оперативностью передачи информации в связи с необходимостью возвращения экспонированной пленки на Землю. Спутники второй группы оснащаются сканерными системами с меньшим разрешением, имеют значительный срок функционирования (более года), характеризуются большей оперативностью передачи информации (что является важным показателем эффективности всей системы). Автоматические спутники, имеющие относительно небольшой вес, проще запустить на полярные орбиты, с которых можно выполнить съемку всей поверхности Земли. Определяющую роль, в основном методическую, должны сохранить за собой также пилотируемые космические аппараты.

Первые планомерные съемки с метеорологических и ресурсных спутников, в процессе которых за сутки передаются сотни снимков, охватывающих огромные территории, показали, что потребители не успевают использовать все получаемые материалы. Создалась ситуация перепроизводства информации, выход из которой требует развития методов автоматической обработки материалов съемки, а также обучения большого круга потенциальных потребителей умению использовать новый вид информации. Работа с космическими снимками требует подготовки специалистов, владеющих в необходимой мере как техническими, так и географическими методами исследований. Вопросы подготовки кадров остро стоят как в нашей стране, так и за рубежом. В США пытаются решить эту проблему, вводя курсы дистанционных методов (число их составляло в 1956 г. — 11, а в 1974 г. — 97); создан специальный центр по использованию космической информации в Сю-Фолзе, где специалисты США и других стран могут проходить стажировку. В СССР курсы аэрокосмических методов также начинают вводиться в ряде университетов и других ВУЗов.

- Береговой Г. Т.* и др. Исследование природной среды с космических кораблей и пилотируемых орбитальных станций. Л., Гидрометеоздат, 1972.
- Виноградов Б. В.* Космические методы изучения природной среды. М., «Мысль», 1976.
- Виноградов Б. В., Григорьев А. А.* Космические методы изучения природной среды.— В кн.: Теоретические и общие вопросы географии, т. 1. М., ВИНТИ, 1974.
- Гоним Г. Б.* Космическая фотосъемка и геологические исследования. Л., «Наука», 1975.
- Заитов Р. И., Цуррун С. И.* Аэрофотоаппарат для выбора типа пленки.— Изв. ВУЗов. Сер. геодезия и аэрофотосъемка, 1962, № 3.
- Зайцев Ю. А., Мухина Л. А.* Применение цветной и спектральной аэрофотосъемки в геологических целях. М., Изд-во МГУ, 1966.
- Злобин Л. И., Кельнер Ю. Г., Козлов В. В.* О комплексном и отраслевом картографировании по материалам съемки с орбитальной станции «Салют-4».— Геодезия и картография, 1976, № 4.
- Использование космических снимков в целях изучения и картографирования природных ресурсов.— Тр. Гос. научн.-исслед. и произв. центра «Природа», вып. 1. М., ОНТИ ЦНИИГАиК, 1977.
- Использование при разработке тематических карт данных, полученных дистанционными способами. Тезисы докладов VIII Межд. картограф. конф., вып. 3. М., Изд-во МГУ, 1976.
- Исследование природной среды космическими средствами. Т. 1. Геология и геоморфология, 1973; т. 2. Геология и геоморфология, 1974; т. 3. Геоботаника, почвоведение и гидрология, 1974; т. 4. География. Методы космической фотосъемки, 1975; т. 5. Геология и геоморфология, 1976; т. 6. Геоботаника, геоморфология, почвоведение, сельскохозяйственные земли, ландшафтоведение, 1976. М., ВИНТИ.
- Калинин Г. П., Колосов П. А., Курилова Ю. В.* Космические методы в гидрологии. Л., Гидрометеоздат, 1977.
- Кац Л. Г., Рябушкин А. Г., Трофимов Д. М.* Космическая геология. М., Изд-во МГУ, 1976.
- Киенко Ю. П.* Проблемы космического природоведения.— Геодезия и картография, 1976, № 4.
- Книжников Ю. Ф., Крайцова В. И.* Применение космической съемки для изучения природной среды.— Геодезия и картография, 1975, № 5.
- Кондратьев К. Я.* Новые зарубежные метеорологические спутники. Л., Гидрометеоздат, 1975.
- Кондратьев К. Я., Васильев О. Б., Иванян Г. П.* Оптимальный выбор спектральных интервалов при изучении природных образований из космоса.— Космические исследования, 1974, т. XII, вып. 1.
- Космические исследования земных ресурсов. Методы и средства измерений и обработки информации. М., «Наука», 1976.
- Крайцова В. И.* Космическое картографирование. М., Изд-во МГУ, 1977.
- Крайцова В. И., Антонова С. Ю.* Применение многозональной съемки для изучения и картографирования мелководий (на примере северо-восточного Каспия).— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1974, № 12.
- Кринов Е. Л.* Спектральная отражательная способность природных образований. Л.— М., Изд-во АН СССР, 1947.
- Курпьянов В. В., Прокачева В. Г.* Спутниковая информация и изучение вод суши.— Тр. Гос. гидрол. ин-та, вып. 238. Л., 1975.
- Кутузлов И. В.* Основные направления развития топографогеодезического производства в десятой пятилетке.— Геодезия и картография, 1976, № 4.
- Макаров В. И., Скобелев С. Ф., Трифонов В. Г.* и др. Глубинная структура земной коры на космических изображениях.— В кн.: Исследование природной среды космическими средствами, т. 2. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1974.

- Методы дешифрирования природных объектов по их многозональным изображениям.— Тр. ГосНИЦИПР, вып. 2. Л., Гидрометеиздат, 1976.
- Многозональная аэрокосмическая съемка и ее использование при изучении природных ресурсов. М., Изд-во МГУ, 1976.
- Образцы многозональной фотоинформации, полученной с долговременной орбитальной станции «Салют-4». М., ГУГК, 1976.
- Салищев К. А.* и др. Результаты комплексного географического дешифрирования снимков с орбитальной станции «Салют-1».— В кн.: Исследование природной среды космическими средствами, т. 4. География. Методы космической фотосъемки. М., ВИНТИ, 1975.
- Скарягин В. Д.* Об изучении разрывной тектоники по комплексу разномасштабных космоснимков Земли (метод многоступенчатой генерализации).— Изв. ВУЗов. Сер. геология и разведка, 1973, № 7.
- Терминология по природным ресурсам Земли. М., «Наука», 1976.
- Ходарев Ю. К., Аванесов Г. А., Дунаев Б. С.* и др. Использование космических средств для изучения земных ресурсов и контроля окружающей среды. Самолетный эксперимент.— Метеорология и гидрология, 1974, № 4.
- Anuta P. E., McDonald R. B.* Crop surveys from multiband satellite photography using digital techniques.— Remote sens. Environm. 1971, v. 2, No. 1.
- Bodechtel J., Gierloff-Emden H. G.* Weltraumbilder der Erde. List Verlag, 1969.
- Bodechtel J., Gierloff-Emden H. G.* Weltraumbilder die dritte Entdeckung der Erde. München, 1974.
- COSPAR Approach Earth Survey problem through use space techniques. Berlin, 1974.
- Earth photographs from Gemini III—V. NASA, Washington, D. C., 1967.
- Earth photographs from Gemini VI—XII. NASA, Washington, D. C., 1968.
- Estes G. F., Senger L. W.* Remote sensing. Techniques for environmental analysis. Santa-Barbara, California, 1974.
- Kratky V.* Cartographic accuracy of ERTS images. Proc. Amer. Soc. Photogram. 39 Unn. Meet., Washington, D. C., 1973, Falls church, Va., 1973.
- Lowman P. D.* Space panorama. Feldmilen, Weltfludbild Reimhold A. Müller, 1968.
- Manual of remote sensing, 1976, v. 1, 2.
- Oswald E. T.* Evaluation of ERTS imagery for vegetation interpretation in British Columbia.— Can. Surv., 1974, v. 28, No. 2.
- Proc. of the VIII Int. Symp. on Remote Sensing in Environment, v. 1, 2. Ann-Arbor, Michigan, 1972.
- Proc. of the IX Int. Symp. on remote sensing of Environment. Michigan, 1974.
- Proc. of workshop on Earth resources survey systems, v. 1, 2. Michigan, 1971.
- Thrower N. J. W.* Satellite photography as a geographical tool for land use mapping. Int. Geography University of Toronto Press, 1972, v. 2.
- Welch R.* Quality and applications of airspace imagery.— Photogrammetric Eng. 1972, v. 38, No. 4.

\*

## ПРОБЛЕМЫ ТЕМАТИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Современное развитие картографии связано с бурным развитием тематического и комплексного картографирования. Оно выражается в быстром росте тематической изученности, возникновении новых видов и отраслей картографирования, совершенствовании методов создания карт. Несмотря на это остается актуальным целый ряд проблем, решение которых может быть существенно продвинуто только при условии применения новых методов и средств, соответствующих этапу научно-технической революции.

К числу таких проблем относятся вопросы методологического плана и тематической картографической изученности.

Поставленные неоднократно и особо подчеркнутые на II Всесоюзной научно-технической конференции по тематическому картографированию (Салицев, 1967) основные задачи тематической изученности — создание серии государственных отраслевых карт М 1:2 500 000 и комплексных региональных научно-справочных атласов — еще далеки от своего выполнения. До сих пор еще не создан целый ряд основных карт М 1:2 500 000, таких как ландшафтная и земельных угодий, почвенная, растительности и т. д., еще довольно слаба изученность по отдельным отраслям тематического картографирования. Региональные научно-справочные атласы покрывают только ~25% территории Советского Союза.

Принятая до сих пор методика составления мелкомасштабных тематических карт, предусматривающая постадийную (с промежуточными масштабами) обработку крупно- и среднемасштабных материалов, настолько трудоемка и сложна для значительных территорий, что не может обеспечить современность, однородность, научную доброкачественность и необходимую быстроту создания сводных карт СССР в целом.

Значительно замедляется решение проблем изученности и недостаточной разработанностью методических вопросов: типологии и классификации, картографической генерализации и согласования карт, особенно важных для комплексного тематического картографирования. Многие карты природы и социально-экономические нуждаются в существенном совершенствовании классификаций и определении их соответствия по детальности масштабам составляемых карт (Салицев, 1967), разработка методических картографических проблем упирается в недостаточно детальное знание топологической и функциональной структуры территориальных комплексов и географических процессов.

Одним из новых средств решения проблем тематического картографирования в силу своих объективных свойств может стать космическая съемка. Отмеченная ранее (Виноградов, Кондратьев, 1970) временная, пространственная и факторная интеграция, присущие космическим материалам, существенным образом могут изменить методику создания тематических карт и помочь решению как методических вопросов комплексного картографирования, так и вопросов изученности.

Пространственная интеграция, вызванная мелкомасштабностью и большой обзорностью космических снимков и выражающаяся в геометрической генерализации изображения, позволяет перейти от методики, предусматривающей многоступенчатость обобщения крупномасштабных материалов, к более простой методике непосредственного составления мелкомасштабных тематических карт по космическим снимкам. Это дает большой выигрыш в скорости обработки материалов и значительно повышает качество создаваемой карты, благодаря однородности используемых материалов.

Неоднократно отмеченная геологами и в особенности тектонистами способность космических снимков проявлять макроэлементы земной поверхности может сыграть решающую роль в объективизации мелкомасштабного картографического изображения и в переходе при создании карт концепций или гипотез на строго фактологическую основу. Те же тектонисты видят теперь возможность создания тектонических карт непосредственно по космическим снимкам, без предварительного обобщения геологических карт. Применение космических снимков повлечет за собою изменение в соотношении индуктивного и дедуктивного методов создания мелкомасштабных тематических карт.

Большие преимущества для мелкомасштабного картографирования открывает временная интеграция космических снимков. Космическая съемка дает возможность получать по-существу одномоментный материал для всей территории Земли, или во всяком случае для очень крупных регионов. До сих пор использование крупно- и среднемасштабных материалов для создания мелкомасштабных карт приводило к применению материалов, накапливаемых на протяжении нескольких лет, и даже десятилетий. Например, используемая наиболее широко для разных видов природного и социально-экономического картографирования топографическая карта М 1:300 000 составлялась, как правило, 10 и даже 20 лет назад. Почвенные крупномасштабные и сельскохозяйственные съемки повторяются через 5—10 лет. Таким образом, при мелкомасштабном картографировании всегда используются частично устаревшие материалы. Кроме того, разновременность материалов накладывала ограничение на возможность изучения особенностей локального проявления некоторых географических процессов, так как каждый регион был отражен на картах в своем времени.

Наиболее существенные преимущества для разработки методических основ комплексного картографирования имеет факторная

интеграция космических снимков. Проблема согласования карт является методологической базой комплексного картографирования и системного подхода в картографии. Изучение отдельных элементов природных и социально-экономических комплексов как частей геосистем, их взаимосвязи и взаимозависимости, наиболее успешно может быть осуществлено по материалам космической съемки. При использовании космических снимков как материалов для создания тематических карт может быть в полной мере применена и значительно усовершенствована методика выделения единых природных контуров и природных рубежей.

Космические снимки могут явиться картографической основой увязки разнообразных отраслевых тематических карт как природных, так и социально-экономических.

Практиковавшаяся в ряде случаев методика создания ландшафтных карт, как синтеза отдельных компонентов ландшафтов, может быть заменена на методику вычленения отдельных элементов из общего ландшафтного изображения на космических снимках.

Применение космических снимков может способствовать объективизации процесса картографической генерализации. В этом отношении они полезны не только при составлении конкретных карт, но и для решения общих вопросов теории картографической генерализации. Интеграция разрозненных деталей объекта в его целостное изображение по мере уменьшения масштаба фотографирования позволяет получать по космическим снимкам исключительно ценную, а в ряде случаев принципиально новую информацию о макрозаконах развития различных природных явлений на земной поверхности. Именно эта особенность делает их чрезвычайно эффективным материалом для проверки правильности генерализации на существующих картах и для разработки ее объективных методов. Уже сейчас возможна и необходима постановка методических работ в области генерализации. Конечной целью их должна быть отработка новых приемов, норм, критериев картографической генерализации и отработка методики непосредственного использования мелкомасштабных снимков для получения генерализованного картографического изображения.

Факторная интеграция космических снимков может явиться методологической основой согласования тематических карт, поскольку в различных отраслях тематического дешифрирования приходится использовать по существу одни и те же индикаторы.

В настоящее время используются два основных вида съемки из космоса — фотографическая и телевизионная. Возможности использования полученных этими методами снимков в тематическом картографировании неодинаковы. Наиболее информативными оказываются фотографические снимки. Величина разрешения на местности при используемых высотах фотографирования с околоземных орбит 200—400 км и фокусных расстояниях объективов от 30 до 200 мм на снимках, имеющих оригинальный масштаб от 1:4 000 000 до 1:10 000 000, измеряется величинами от 10 до

100 м. В среднем можно считать, что разрешение фотографических космических снимков — 20—50 м. Это обеспечивает детальность на снимках, сопоставимую с картами М 1:300 000, иногда 1:100 000. Следовательно фотографические снимки могут с успехом использоваться для составления тематических карт М 1:500 000—1:1000 000 и более мелких. При обычном формате снимков 24×32 мм, 60×70 мм ( $f=30-40$  мм) и 130—150 мм ( $f=100-200$  мм) их территориальный охват составляет от 200×300 км до 600×300 км. Однако сплошного обеспечения сколь угодно крупных территорий перекрывающимися снимками такого типа пока мы не имеем.

К недостаткам фотографических снимков, получаемых с нестабилизированных аппаратов, относится их неплановость и возникающая при этом проблема трансформирования. Последнее вызывает некоторую потерю качества изображения. Таким образом, возможность использования фотографических космических снимков для тематического картографирования на современном этапе космической съемки ограничивается несплошным покрытием картографируемых территорий, отсутствием регулярно повторяющихся материалов съемки, необходимых для выявления и изучения динамики явления.

Фотографические снимки Земли, сделанные не с околоземных орбит, а с дальних отстояний (более диаметра Земли), дающие изображение планеты в целом, при разрешении порядка 10 км («Зонд-5»—10 км), могут использоваться для уточнения лишь сверхмелкомасштабных тематических карт глобального охвата.

Телевизионный метод съемки обеспечивает полный охват снимками земной поверхности, большую оперативность их получения и систематическую повторяемость. Однако они уступают фотографическим снимкам по качеству изображения. Разрешение телевизионных снимков с метеорологических спутников, работающих на околоземных орбитах на высотах 600—1000 км, измеряется километрами (например, снимки со спутников «Метеор», имеющие масштаб 1:8 000 000—1:12 000 000). Для обзорных снимков, получаемых со спутников ESSA, NOAA, характерны величины разрешения, измеряемые десятками километров. Такие снимки по детальности изображения уступают картам не только более крупных, но и идентичных масштабов, а по информативности они лишь в отношении отдельных элементов содержания могут сопоставляться с картами. Значительная часть деталей земной поверхности, такие, как гидросеть, элементы рельефа, не подчеркнутые распределением растительности или снежного покрова, на них теряется. Вместе с тем, благодаря сильной генерализации изображения, на них подчеркиваются такие макроэлементы, как слабо выраженные на местности глубинные разломы земной коры, крупные геологические структуры.

Исходя из этих характеристик снимки с метеорологических спутников не могут быть рекомендованы к использованию в ка-

честве основных материалов при создании мелкомасштабных тематических карт, но могут быть полезными в качестве дополнительных источников информации при отображении явлений крупного регионального плана (высотной поясности, зональности, геологических разломов, различного рода структур и т. д.) Наиболее перспективны для целей тематического картографирования снимки с ресурсных спутников. Исследование геометрической точности снимков, полученных с американского ресурсного спутника ERTS-1, показало, что она соответствует точности карты М 1: 1 000 000, и поэтому снимки вполне пригодны для картографирования в мелких масштабах. Советские ресурсные спутники должны обеспечить получение многозональных сканерных снимков с разрешением порядка 200—400 м, которые могут быть использованы для составления ряда тематических карт М 1:2 500 000—1:5 000 000. Немаловажно заметить, что программы ресурсных спутников не предусматривали получение снимков, рассчитанных на решение задач картографирования.

Использование космической съемки для целей тематического картографирования связывают с получением многозональных снимков, фотографических и телевизионных. Возможность использовать спектральную яркость объектов, как один из их признаков, улучшает дешифровочные свойства снимков, расширяя круг дешифровочных признаков объектов. Успех многозональной съемки во многом зависит от правильности выбора спектральных интервалов съемки. Работа с первой серией космических многозональных снимков, полученных в сентябре 1973 г. с корабля «Союз-12», показала их определенные преимущества перед обычной съемкой для изучения и дешифрирования целого ряда объектов. К числу их относятся посевы сельскохозяйственных культур на разных стадиях вегетации, загрязнение водоемов, таяние снежного покрова, мелководные акватории и др.

Среди неоптических видов дистанционной съемки может использоваться: тепловая ИК-съемка в диапазоне длин волн порядка 10 мк; микроволновая (радиотепловая) съемка, регистрирующая радиояркостные температуры — в сантиметровом диапазоне; активная радиолокация. Преимущества работы в длинноволновых диапазонах заключаются в том, что съемку можно производить через облачность, туман, в темноте и т. д. Результаты исследований в невидимой части спектра могут быть представлены в форме изображений, но разрешающая способность таких снимков невелика и измеряется десятками километров. Однако они могут использоваться для тематических карт, например, тепловые снимки — для карт, содержание которых составляют температурные характеристики водной поверхности, участки загрязнения вод и т. д. Микроволновая регистрация используется для изучения влажности почв, волнения морской поверхности, возраста морских льдов. Таким образом, неоптические виды съемки дают материал для картографирования объектов земной поверхности, причем иногда дают

возможность получать некоторые характеристики объектов, недоступные изучению другими методами. В этом состоит их основное преимущество.

Практические примеры использования космических материалов для составления тематических карт пока единичны. Можно назвать геологические фотокарты юго-запада США, Перуанских Анд, Тибета, бассейна р. Конго и др. (Satelliten, Kartographie, 1968), карты использования земель юго-запада США и динамики городов Даллас и Форт-Уэрт (Thrower, 1972), созданные по снимкам с космических кораблей «Джемини» и «Аполлон»; серии карт динамики снежного покрова на Северо-Американском континенте (Baker, 1971), температур поверхности океана Северного полушария (Krishna, Rao, 1972), морских льдов в Северном Ледовитом океане и северной Атлантике (McClain, 1971; Kaminsky, 1971), составленных по снимкам с метеорологических спутников. Ряд различных по тематике карт составляется в последние годы по снимкам с ресурсного спутника ERTS-1, среди которых карты мерзлотного рельефа Аляски (Haugen et al., 1972), загрязнения водохранилищ Канзаса (Yarger, 1972), карты использования земель Пуэрто-Рико.

Заслуживают внимания экспериментальные исследования, проведенные в СССР по использованию космических материалов в комплексном картографировании. Выполнявшиеся разработки относятся к двум атласам — физико-географическому атласу мира (ФГАМ) и региональному атласу. Работы первого рода выполняются Институтом географии АН СССР в связи с перспективой переиздания ФГАМ. Проведены эксперименты по составлению фрагментов карт для этого атласа по снимкам с космического корабля «Союз-9». Составлены структурные, геоморфологическая, геоботаническая и другие карты (Мещеряков и др., 1971; Виноградов, 1973). Эксперименты показали, что космические снимки обеспечивают создание карт, не только более точных и достоверных по правильности передачи черт природы в сравнении с картами изданного ФГАМ, но и значительно более детальных (при этом использовались снимки, полученные в оригинальном масштабе съемки, более крупном, чем масштаб карт ФГАМ). Продемонстрировав, с одной стороны, большие возможности космических фотоснимков, эти эксперименты, с другой стороны, отличались чрезмерным детализирующим уклоном. Предназначенные для оценки снимков, как исходных материалов создания очень мелкомасштабных карт (М 1 : 7 000 000—1 : 15 000 000), они должны были бы большее внимание уделить именно их огромной генерализующей роли, использованию снимков для более правильного решения вопросов генерализации при составлении мелкомасштабных карт. Извлечение из них информации, по детальности значительно превышающей ту, которая требуется для карт ФГАМ, на наш взгляд, не способствует решению непосредственно поставленной задачи.

Другая группа экспериментов, проведенных с целью оценки

возможностей использования космических снимков в атласной картографии, выполнена в МГУ. Эти работы решали задачу совершенствования карт регионального атласа. Работа выполнялась по высококачественным космическим снимкам М 1 : 1 500 000, совпадающим с наиболее крупным масштабом основных карт атласа. Таким образом, здесь в эксперименте использовались не случайные (в смысле масштаба и качества изображений) материалы, а такие, которые можно считать предназначенными для целей создания региональных атласов. Анализ выявил возможности значительного совершенствования карт, в основном их уточнения, детализации при использовании космических снимков по сравнению с традиционными методами их составления, базирующимися на маршрутно-ключевых полевых исследованиях, экстраполяция данных которых производится на основе топографических карт. Помимо совершенствования традиционных карт — ландшафтной, геоморфологической, геоботанической — выявлена возможность составления по снимкам ряда карт, не обеспечивавшихся другими материалами (сети лавин и т. д.)

Проведенные экспериментальные работы говорят о том, что методика использования космических снимков при создании карт находится еще в стадии становления. Не разработано оптимальных способов картографической обработки космических снимков, не полностью выявлены преимущества и недостатки космических материалов различного типа. В этом направлении делаются только первые шаги. Сравнительно небольшой опыт использования космических снимков при создании тематических карт позволяет заметить лишь контуры будущей технологии составления карт на основе применения космических снимков.

Космические снимки могут привлекаться почти на всех этапах создания карт, начиная с редакционно-подготовительных работ. Они используются, с одной стороны, как источник информации об объекте картографирования, с другой — как удобная картографическая основа для экстраполяции данных точечных и маршрутных наблюдений об объекте. На этом этапе, наряду с картографической основой, для авторских работ должна быть подготовлена и рабочая фотооснова в том же масштабе и проекции. Она изготавливается из космических снимков, трансформированных в проекции будущих карт, и представляет собой фотокарту, которая для облегчения работы с ней может содержать отдешифрованные элементы орографии и их подшиса, населенные пункты, а в некоторых случаях изображение рельефа горизонталями. Использование рабочей фотоосновы поможет с большей объективностью и детальностью передать тематическое содержание карт. Единая фотооснова помогает также согласованию и увязке карт, когда ведется комплексное картографирование. Значительна роль космических снимков в авторских работах, особенно при подготовке и проведении полевых работ. Возможность предварительного ознакомления с территорией по космическим снимкам позволяет оптимально

построить сеть маршрутных полевых наблюдений и выбрать наиболее репрезентативные ключевые участки. При полевых работах важно выявить дешифровочные признаки различных природно-территориальных комплексов и их компонентов, что существенно облегчает дальнейшую работу по снимкам на основном этапе их использования — на этапе составления авторских оригиналов карт. Здесь космические снимки служат прекрасной основой для рисовки контуров даже в тех случаях, когда основную информацию о картографируемом явлении можно получить иными, не космическими методами. Особенно полезно использование такой основы при экстраполяции точечных или локальных данных непосредственных наблюдений. Использование ряда косвенных признаков при выделении контуров значительно увеличивает точность карт, позволяя избежать их схематизации, неизбежно возникающей при использовании топографических карт.

Построение картографического изображения по снимкам помогает сохранить присущий объекту рисунок контуров и детальность изображения.

Исключительно велика роль космических снимков при разработке типологии картографируемых объектов, например, в ландшафтном картографировании (Николаев, 1974). Тон, структура изображения, определенные размеры и конфигурация контуров, взаимная пространственная сопряженность объектов позволяют более объективно произвести типологические объединения выделенных контуров. Наряду с трансформированными снимками, здесь используются и оригинальные снимки, обладающие более высоким качеством изображения.

При камеральном составлении карт по разнородным источникам большая роль принадлежит космическим снимкам в увязке материалов. Единая фотооснова из космических снимков представляет собою базу для объективной оценки разнородных картографических источников и сведения их в единое целостное произведение.

Большую роль играют космические снимки и при обновлении тематических карт, позволяя при повторных съемках оперативно обнаружить изменения в состоянии или развитии наблюдаемого явления и внести исправления в составленную карту.

Рациональность использования космических снимков в картографии ясна. Тем не менее сейчас их применение для целей картографирования весьма ограничено. Для широкого внедрения космических методов в тематическое картографирование необходимо решение довольно большого круга картографических методических вопросов и выполнение ряда условий.

Главными условиями, на наш взгляд, являются:

регулярное и систематическое получение космических снимков, пригодных для тематического картографирования. Эта задача частично решается с запуском ресурсных спутников;

повышение качества космических снимков, и в первую очередь

телевизионных сканерных снимков, получаемых с ресурсных спутников. Совершенствование методов съемки, в частности освоение одного из новых методов — многозональной съемки из космоса;

решение задач геометрического преобразования снимков, трансформирования их изображения в картографические проекции. Создание фотокарт по космическим снимкам;

разработка способов повышения дешифрируемости снимков на базе их фотографического и машинного преобразования — подчеркивания границ, квантования по уровням плотности, цветоразделения по плотности с использованием специальных фотопленок или оптических приборов — дешифраторов, оптической фильтрации и т. д.;

разработка методики дешифрирования снимков. Создание дешифровочных эталонов для различных картографируемых объектов и разных типов территорий.

К числу основных методических проблем относятся:

изучение вопросов оптической и геометрической генерализации изображения на мелкомасштабных космических снимках для различных объектов и в разных природных условиях, как основы для понимания закономерностей формирования структуры фотозображения и определения возможности составления тематических карт отдельных компонентов ландшафта;

разработка методики составления отдельных видов тематических карт по космическим снимкам;

решение вопросов объективизации картографической генерализации на тематических картах;

развитие вопросов согласования тематических карт при комплексном картографировании на основе факторной интеграции космического изображения;

определение оптимального соотношения масштабных рядов космических снимков и создаваемых на их основе тематических карт;

разработка вопросов автоматизации дешифрирования и составления оперативных карт по спутниковой информации.

## ЛИТЕРАТУРА

- Виноградов Б. В.* Космическое фотографирование для обновления тематических карт физико-географического атласа мира.— Изв. ВУЗов. Сер. геодезия и аэрофотосъемка, 1973, № 5.
- Виноградов Б. В., Кондратьев К. Я.* Космические методы земледения. М.— Л., Гидрометеоздат, 1970.
- Мещеряков Ю. А., Асоян Д. С., Миронов Е. П., Олейников И. И.* Спутниковая география. Предпосылки развития и некоторые задачи. Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1971, № 3.
- Николаев В. А.* Изучение ландшафтной структуры земной поверхности по материалам космической фотосъемки.— В кн.: Исследование природной среды космическими средствами, т. 3. Геоботаника, почвоведение и гидрология. М., ВИНИТИ, 1974.
- Салищев К. А.* Современные проблемы тематического картографирования

в СССР.— В кн.: Тематическое картографирование в СССР. Л., «Наука», 1967.

- Baker D. K.* Remote sensing of snow fields from Earth satellites. Proc. of workshop on Earth resources survey systems, v. 2. Michigan, 1971.
- Haugen R. K., McKin H. L., Gatto L. W., Anderson D. M.* Gold regions environmental analysis based on ERTS-1 imagery. Proc. of the VIII Int. Symp. on Remote Sensing in Environment, v. 2. Ann-Arbor, Michigan, 1972.
- Kaminski H.* Bestimmung von kurz und Schneebewegungen in der Arktik aus Satelliten Luftbildern.— Polarforschung, 1971, B. 41, N 1—2.
- Krishna Rao R.* Remote sensing of sea surface temperature from Earth satellites.— Proc. of workshop on Earth resources survey systems, v. 2. Michigan, 1972.
- McClain E. P.* Remote sensing of sea ice from Earth satellites.— Proc. of workshop on Earth resources survey systems, v. 2. Michigan, 1971.
- Satelliten Kartographie. Geologische Bildkarten aus Weltraumaufnahmen.— VDI Nachr., 1968, B. 22, N 32.
- Thrower N. W.* Satellite photography as a geographic tool for land use mapping. University of Toronto Press, 1972, v. 2.
- Yarger H. L.* ERTS-1 study of reservoirs in Kansas. Proc. of the VIII Int. Symp. on Remote Sensing of Environment, v. 2. Ann-Arbor, Michigan, 1972.



*Ю. Г. Кельнер, Г. Н. Романкевич*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ОБНОВЛЕНИЯ ОБЩЕГЕОГРАФИЧЕСКИХ И ТЕМАТИЧЕСКИХ КАРТ

В настоящее время для картографических работ используются материалы наземных измерений, данные аэросъемки, картографические, статистические и текстовые источники. Государственной картографо-геодезической службой, картографическими подразделениями ряда министерств и ведомств накоплен огромный по объему и неопределимый по значению картографический материал, широко используемый при планировании и проектировании народнохозяйственных мероприятий. Топографическое изучение страны в М 1:100 000 завершено к 1959 г. Создан целый ряд производных топографических карт более мелких масштабов на всю страну. Успешно ведется картографирование и обновление карт М 1 : 25 000, создание карт М 1 : 10 000 и крупнее на наиболее перспективные районы и территории городов. Полностью обеспечиваются потребности школ в разнообразных картографических пособиях, в сотрудничестве со многими министерствами и ведомствами ГУГК создаются и публикуются тематические карты и комплексные атласы, широко используемые в народнохозяйственных, научных и учебных целях. Помимо подразделений ГУГК, картогра-

фические работы выполняют более чем 250 научных и производственных организаций других министерств и ведомств.

Попутно с развитием основных отраслей народного хозяйства, потребность в топографо-геодезической и картографической продукции постоянно растет. Для ее удовлетворения необходимо наращивание объемов работ примерно в 2 раза в течение каждой пятилетки. Последнее требует изыскания новых, более эффективных методов картографирования и астрономо-геодезического обеспечения. Использование космической фотоинформации может стать одним из важных факторов повышения эффективности картографических работ. Проведенные исследования показывают перспективность ее использования уже в настоящее время в следующих основных направлениях:

- 1) при обновлении топографических карт;
- 2) в процессе создания и обновления общегеографических и тематических карт средних и мелких масштабов;
- 3) для разработки новых типов картографических документов, необходимых народному хозяйству.

#### ОБНОВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

Обновление топографических карт в условиях бурного развития производительных сил, быстрого изменения ландшафта под влиянием хозяйственной деятельности человека представляет трудоемкую и сложную задачу. Очередность обновления топокарт на различные районы страны может быть правильно установлена при условии учета степени преобразования ландшафта и перспектив хозяйственного использования территории. Космическая фотоинформация в комплексе с другими исследованиями позволяет установить современное состояние местности и соответствие ее существующим топографическим картам, тем самым помогает наметить рациональную очередность работ.

Проведенный анализ показывает, что использование космической информации обеспечивает получение существенного экономического эффекта.

Большое значение имеет возможность последовательного обновления по космическим снимкам топографических карт разных масштабов в той очередности, в какой они используются в решении различных народнохозяйственных задач, т. е. от мелких или средних масштабов к более крупным. Это помогает современному топографическому обеспечению крупных хозяйственных мероприятий на этапах предплановых разработок, составлению технических обоснований и докладов.

## СОЗДАНИЕ И ОБНОВЛЕНИЕ ОБЩЕГЕОГРАФИЧЕСКИХ И ТЕМАТИЧЕСКИХ КАРТ СРЕДНИХ И МЕЛКИХ МАСШТАБОВ

Использование космических снимков обеспечивает значительную экономию труда и средств при редакционно-составительских работах в мелкомасштабной картографии, обуславливая в то же время повышение качества карт и атласов.

Применение материалов космической съемки в настоящее время может быть наиболее эффективным для целей создания и обновления карт, отображающих явления и элементы местности, регистрируемые прежде всего фотографическими методами. К ним относятся общегеографические карты, карты природных условий и ресурсов, а также некоторые социально-экономические и специальные карты (навигационные, сельскохозяйственные, размещения населенных пунктов, транспортной сети и др.).

Экономия труда при создании и обновлении карт этой группы определяется сокращением или полным исключением ряда этапов работ, необходимых по существующему технологическому циклу.

В авторской и редакционной подготовке карт возможно сокращение на 50% объема работ по оценке картографических источников. Известно, что оценка источников при создании и обновлении карт требует больших затрат труда и времени (до 25% от общего объема редакционных работ) и в значительной мере определяет качество создаваемых произведений. Сопоставление с материалами космической съемки позволяет в короткий срок отобрать источники более современные и достоверные, исключив тем самым часто возникающую в производстве необходимость внесения исправлений на поздних этапах создания карты (вплоть до издательского оригинала) и связанные с этим непроизводительные затраты.

На 40—60% сокращается время, необходимое на предварительное ознакомление со спецификой картографируемого региона. Для целого ряда карт отпадает необходимость в составлении авторских оригиналов карт и образцов генерализации. Авторские материалы могут представляться в виде отдешифрованных снимков и эталонов оформления на небольшие участки картографируемой территории и авторской объяснительной записки. В результате этого отпадает надобность в изготовлении специальной картографической (рабочей) основы. Образцы генерализации могут заменяться космическими снимками с целесообразным выбором соотношения в масштабах.

Особенно велика роль космических материалов в деле согласования карт разной тематики, являющемся необходимым условием комплексного картографирования. Согласование карт занимает нередко до 30% времени, необходимого для подготовки серии карт и атласов. Использование космических снимков при комплексном картографировании позволит вести авторские и редакционные работы широким фронтом, сократить время на согласование

карт не менее, чем на 70% значительно повысив полноту их взаимного согласования, а значит и практическую ценность.

При выполнении составительских работ использование мелко-масштабных снимков ускоряет (не менее, чем на 30%) процесс генерализации картографического изображения, способствует его объективизации и повышению качества карт. Составление многих карт целесообразно выполнять на синих копиях с отцифрованных фотопланов, изготовленных в ряде стандартных масштабов. При правильно выбранном соотношении в масштабах съемки и создаваемой карты сложный и трудоемкий процесс картосоставления возможно выполнить в более короткий срок и с более высоким качеством.

Таблица 1

*Снижение трудовых затрат в процессе разных работ*

Назначение работ	Сокращение, %		
	Авторская разработка	Редактирование	Составление
Создание общегеографических карт	—	50—60	10—20
Создание тематических карт	50—60	20—30	10—20
Обновление общегеографических карт	—	50—60	10—20
Обновление тематических карт	60—70	40—50	30—40

Табл. 1 показывает возможное сокращение трудовых затрат на основных процессах редакционно-составительских работ в результате использования материалов космических съемок.

#### РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТИПОВ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ

Материалы космического фотографирования разных масштабов и территориального охвата представляют большую ценность для разработки новых типов карт, необходимых для научных, практических и учебных целей. Ознакомление с требованиями министерств и ведомств к картографической продукции показывает, что для решения целого ряда народнохозяйственных задач большое значение имеет разработка и создание обзорных топографических фотокарт многоцелевого назначения мелких и средних масштабов. Особенно эффективно использование обзорных фотокарт в качестве дополнений к стандартным обзорно-топографическим картам. Фотокарты дают важную дополнительную информацию о местности, позволяют специалистам разного

профиля извлекать необходимые для них данные путем тематического дешифрирования фотоизображения с учетом решаемых научных и практических задач. Помимо объектов, отображаемых на обычных топографических картах, фотокарты дают возможность получить сведения о расчлененности рельефа, эродированности и засоленности почв, характере поверхностных горных пород, размещении и состоянии сельскохозяйственных угодий, состоянии древостоев, режиме водоемов и водостоков, структурно-тектоническом строении, степени хозяйственной освоенности территории и других ее особенностях, важных для планирования и проведения различных народнохозяйственных мероприятий и охраны среды.

ГУГК проведены эксперименты по созданию и полиграфическому воспроизведению топографических фотокарт в черно-белом и цветном вариантах. Технологию создания и печати фотокарт можно считать в первом приближении отработанной. Дальнейшие исследования связаны с доработкой содержания и оформления карт применительно к различным типам ландшафтов СССР. При этом должны быть обеспечены сопоставимость карт на разные районы страны и оптимальные условия отображения местных особенностей картографируемой территории.

Важным качеством фотокарт является возможность их быстрого и дешевого обновления при условии многократного использования штриховых оригиналов и периодической замены оригиналов полутонового изображения на новые, полученные по материалам новых съемок. Оперативное обновление фотокарт позволит организовать систематическое дежурство за изменениями, происходящими в природном и культурном ландшафте.

Следует отметить, что космическая съемка открывает широкую перспективу развития оперативной картографии и создания тематических карт, регистрирующих на разные моменты времени состояние динамичных и быстро изменяющихся процессов и явлений (облачного покрова, океанических течений, снежно-ледниковых комплексов, фенологических смен растительности, опасных сочетаний природных явлений и др.).

Задачи и программа оперативной картографии должны быть разработаны в сотрудничестве с заинтересованными ведомствами, после чего работы в этой области займут важное место среди направлений деятельности картографической службы.

Большую ценность представляют материалы космического фотографирования для целей учебной картографии. Например, с методической точки зрения в учебных атласах вместо стилизованных рисунков целесообразно помещать репродукции цветных космических фотографий различных типов местности, изображения облачного покрова Земли на разные сезоны, характеризующие общие закономерности циркуляции атмосферы, снимки облачного покрова при типичных синоптических ситуациях. В учебных целях целесообразно совмещение глобального фотоизобра-

жения облачного покрова с показом центров действия атмосферы (областей повышенного и пониженного давления) и воздушных течений.

Большое значение имеет разработка методики использования мелкомасштабных снимков для составления ресурсных карт мира и материков (биологической продуктивности суши и океана, минеральных, термических, водных, земельных и энергетических ресурсов географической среды). Исследования в этих направлениях будут способствовать качественному созданию ряда новых картографических произведений (например, Атласа природных ресурсов мира), а также разработке методов учета естественных ресурсов среды в глобальных масштабах.

С решением сложных задач, обусловленных размерами территории, разнообразием природных условий, процессов, высокими темпами экономического развития многих районов, связано изучение и картографирование природных ресурсов страны. В настоящее время эта проблема самым тесным образом связывается с использованием информации, получаемой с помощью космической техники. Наиболее целесообразным в экономическом отношении является путь комплексного изучения природных ресурсов по ограниченному количеству источников информации. Успех развития этого направления определяется проведением основательных методических работ, выбором оптимальных параметров фотоматериалов, аппаратуры, условий съемки и обработки информации.

Методической основой комплексного использования материалов космической съемки является передача в генерализованном виде на них облика территории, сочетающего фактологию по географическим объектам с передачей закономерности и взаимосвязей, существующих между различными природными и социально-экономическими компонентами, индицирующих природные ресурсы и способствующих их оценке.

Материалы космической съемки, удовлетворяющие решению задач комплексного картографирования, позволяют разработать методику составления ряда карт природных условий, природных ресурсов, карт охраны природы. В их числе: карты использования земель с количественными показателями (по площадям, применительно к административным единицам), с подробными градами выделов; карты почвенных характеристик, водной, ветровой эрозии, засоления, общего планирования мелиоративных мероприятий, оперативные карты для нужд сельского хозяйства. Значительный интерес для нужд народного хозяйства представляют карты гидрогеологического комплекса с характеристиками по водности, запасам воды; карты увлажненности почв, выходов грунтовых вод, карты болот с их подробными грациями, оценочные карты по запасам грунтовых вод, снежному покрову, ледникам. Материалы космической съемки дают исходную информацию для создания комплекса карт на мелководья внутренних и окаймляю-

щих страну акваторий. При картографировании лесных и растительных ресурсов имеются возможности создания карт лесов с характеристиками по породам, с подсчетом лесных площадей, площадей, занятых кустарниками, лугами, по созданию карт растительных ресурсов тундры, пустынь, прибрежных зон морей.

Большие перспективы в области геологического картографирования по материалам космической съемки широко известны. Главное направление в этой отрасли — составление с использованием космической информации карт минерально-сырьевых ресурсов (на основе структурно-геологического анализа строения территории) с целью выявления структур, перспективных на поиск полезных ископаемых.

Перечисленные типы карт не исчерпывают возможностей комплексного использования космической информации, они иллюстрируют весьма широкий диапазон этих возможностей. Применительно к задачам экономического развития того или иного района могут быть получены оригинальные и необходимые материалы.



*В. И. Кравцова, С. Ю. Антонова*

## ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОЗОНАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ТЕМАТИЧЕСКОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ

Последние годы знаменуются все более широким использованием в комплексе аэрокосмических методов исследований многозональной съемки, преследующей цель увеличить дешифрируемость снимков. Для нее применяются специальные многообъективные камеры, сконструированные в Советском Союзе (Зайтов, Цупрун, 1962), и появившиеся позже многозональные сканеры. Успешные эксперименты по многозональной фотосъемке из космоса и с самолетов, проведенные в США при выполнении программы полетов космического корабля «Аполлон-9» (1969), а затем широкое внедрение многозональной съемки в сканерном варианте во время работы ресурсного спутника ЕРТС-1 (1972—1973 гг.) и выполнение фотографической и сканерной многозональной съемки с орбитальной станции «Скайлэб» дали в руки исследователей природной среды новый инструмент. Значительные усилия были направлены на разработку методики использования многозональных снимков при визуальной работе с ними и методов инструментальной и автоматизированной обработки снимков.

В США достигнуты определенные успехи в этом направлении, например, в отношении распознавания категорий использования земель и сельскохозяйственных культур путем анализа различий в плотности их изображения на снимках, полученных в разных зонах спектра.

Последние годы характеризуются появлением многозональных снимков, в том числе космических, и в Советском Союзе. Фотографические и сканерные многозональные снимки были получены в СССР в самолетных экспериментах 1973 и 1974 гг. при выполнении программ фотографирования с космических кораблей «Союз-12 и 13» и при сканерной съемке с 18-го спутника «Метеор». Сейчас, через несколько лет работы многозональных съемочных систем целесообразно рассмотреть те действительные выгоды и преимущества, которые съемка дала потребителю.

К настоящему времени выявляется, что многозональная съемка повышает дешифрируемость снимков и дает дополнительный эффект не повсеместно, не для всех объектов съемки, а лишь для сравнительно ограниченного их круга. Очень важно, на наш взгляд, выявить те отрасли исследований и те природные или хозяйственные объекты, для которых ее применение наиболее целесообразно.

Опыт работы с советскими многозональными снимками показывает, что наибольший эффект она дает в таких отраслях исследований, как изучение сельскохозяйственного производства, комплексное изучение зоны шельфа, особенно мелководий, исследование состава слагающих земную поверхность пород и рыхлых отложений, в частности, засоления почвообразующих пород. К этим выводам приводит опыт работы со снимками, полученными в первом советском эксперименте по многозональному фотографированию из космоса, проведенному на космическом корабле «Союз-12» в сентябре 1973 г. летчиками-космонавтами СССР, Героями Советского Союза В. Г. Лазаревым и О. Г. Макаровым (эксперимент поставлен при участии различных организаций, в том числе ИКИ АН СССР и МГУ). Анализ возможностей использования полученных в этом эксперименте многозональных снимков был выполнен лабораторией аэрофотометодов кафедры геодезии и картографии географического факультета МГУ при участии других кафедр. Материалы этого анализа положены в основу настоящей работы.

В многозональном фотографическом эксперименте на КК «Союз-12» использовалась узкоплочная камера с  $f=44$  мм, что обеспечивало при съемке с высоты 350 км в масштабе 1:8 000 000 разрешение на местности около 200 м. Такое сравнительно небольшое разрешение сразу же заставляет исключить из рассмотрения важнейшие для многозональной съемки объекты — посевы сельскохозяйственных культур, поскольку на снимках с таким разрешением земельные массивы хотя и имеют особую текстуру изображения, но поля с различными культурами не воспринимаются как индивидуальные объекты, и измерения их плотности за-

*Положение максимумов спектральной чувствительности многозональных снимков с КК «Союз-12»*

Пленка	Зона		Положение максимума спектральной чувствительности, мк
	№	цвет пропускаемого излучения	
Тип-17	1	оранжевый	0,58
	2	красный	0,66
	3	красный	0,68
КН-3	4	синий	0,47
	5	зеленый	0,54
	6	красный	0,64

труднены (размер массивов полей колеблется от 4—6 км<sup>2</sup> в районах зернового земледелия на равнинах до долей квадратных километров в горных районах, что составляет в масштабе снимка от 0,1 мм<sup>2</sup> до тысячных долей миллиметра).

Съемка, проведенная для большей части территорий в 6 зонах, максимумы спектральной чувствительности которых указаны в таблице, по существу использовалась как 4-зональная съемка (ввиду близости спектральной чувствительности 2, 3 и 6 зон) в синей, зеленой, оранжевой и красной зонах спектра.

Съемкой с КК «Союз-12» охвачен широкий спектр ландшафтов — песчаные щебнистые и глинистые пустыни северо-восточной Африки с древними останцовыми горными массивами и восточными солончаковыми котловинами, вулканические нагорья Армении, горные степные районы Дагестана, полупустынные ландшафты восточного Прикаспия. Помимо земной поверхности съемкой охвачены акватории разного типа — глубоководные пространства Средиземного моря и мелководья северо-восточной части Каспийского моря. Покрытая съемкой территория разнообразна и в отношении культурных ландшафтов, особенностей хозяйственного освоения территории — от неосвоенных пустынных территорий до районов интенсивного земледелия на орошаемых землях. Таким образом, имелась возможность проверки эффективности применения многозональной съемки для изучения районов, различных в природном и хозяйственном отношении. Оценка возможности их использования для решения широкого комплекса вопросов потребовала привлечения к работе специалистов — геологов, ландшафтоведов, геоботаников, метеорологов, экономико-географов и т. д.

Опыт работы со снимками с КК «Союз-12» подтвердил, что многозональные снимки при их визуальном дешифрировании дают эффект для изучения далеко не всего круга отражающихся на них объектов. Однако, несомненно, они позволяют получить некото-

рую дополнительную информацию и облегчают визуальное дешифрирование ряда природных и хозяйственных объектов. К таким объектам, по опыту использования снимков с КК «Союз-12», относятся, в первую очередь, водные объекты: морские мелководья — рельеф их дна, донная растительность, загрязнение вод — и озера.

Среди объектов суши с наибольшей эффективностью дешифрируются по многозональным снимкам объекты, связанные с повышенным содержанием солей, — в различной степени засоленные почвы, солевые корки на поверхности, водоемы с различной концентрацией солей. Использование многозональных снимков помогает выделить контуры песчаных отложений, а иногда и судить

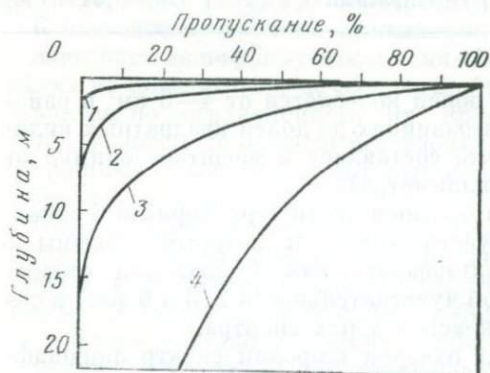


Рис. 1. Проникновение солнечной радиации в морскую воду в четырех спектральных диапазонах многозонального сканера спутника ЕРТС-1

1 — MSS 7 (0,8—1,1 мк); 2 — MSS 6 (0,7—0,8 мк); 3 — MSS 5 (0,6—0,7 мк); 4 — MSS 5 (0,5—0,6 мк)

об их мощности. Растительность, в частности, культурная, ее видовой состав и состояние, эффективность многозональной съемки которых была показана предшествующими исследованиями, при визуальном дешифрировании многозональных снимков с КК «Союз-12» особых преимуществ не получила. Безусловно, целесообразным оказывается использование многозональных снимков для опознавания дымовых факелов пожаров, пятен нефти на воде и других видов водных и воздушных загрязнений.

Эти общие выводы можно пояснить на примере дешифрирования мелководной акватории и некоторых объектов на поверхности суши, например, засоленных территорий.

Эффективность применения многозональной съемки наиболее ярко проявляется при изучении морской акватории на участках с небольшими глубинами. Глубина проникновения солнечных лучей в воду для различных участков спектра неодинакова (Chagnell, Maulberge, 1973) — она максимальна в более коротковолновом диапазоне видимой части спектра (рис. 1). Для длин волн 0,5—0,6 мк при условии прозрачной воды эта глубина значительно превышает 20 м, для 0,6—0,7 мк — составляет 15 м, для 0,7—0,8 мк — всего 5 м; увеличение мутности воды сокращает эти величины.

Следовательно, на снимках, сделанных в различных спектральных диапазонах, должны отражаться объекты, находящиеся на разной глубине. Эта мысль хорошо подтвердилась при анализе многозональных снимков Средиземноморского побережья в районе дельты Нила. Светлая полоса мелководной зоны имеет на зональных снимках разную ширину; ее граница на снимке в 4 зоне соответствует изобате 20 м, в 5 зоне — изобате 12—15 м и в 2 и 3 зонах — изобате 10 м (рис. 2).

Инструментальное подтверждение этих результатов, полученных при визуальной работе со снимками, может открыть значительные перспективы использования многозональных снимков для изучения глубин — вопроса, чрезвычайно актуального в связи с освоением зоны шельфа. Однако такое изучение глубин возможно лишь при условии чистых вод, однородного в геологическом отношении дна и при отсутствии водной растительности. Такое сочетание условий встречается далеко не всегда. Сложная картина отразилась на снимках мелководий Каспия в районе полуостровов Мангышлак и Бузачи, где на изображении сказывались и глубины, и различия слагающих дно осадков, и подводная растительность, и наличие взмученных вод, содержащих большое количество взвесей.

В этом случае многозональные снимки не могли быть столь эффективно использованы для изучения глубин, но помогли разделить изображение этих объектов между собой и даже составить схему подводных ландшафтов анализируемого участка.

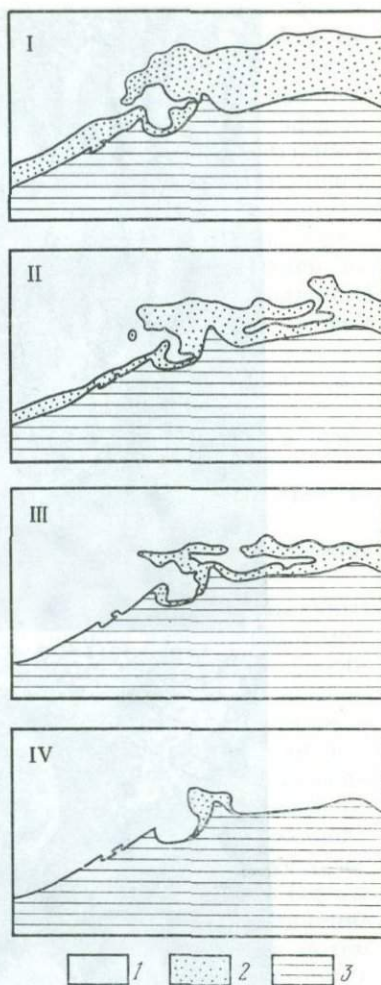
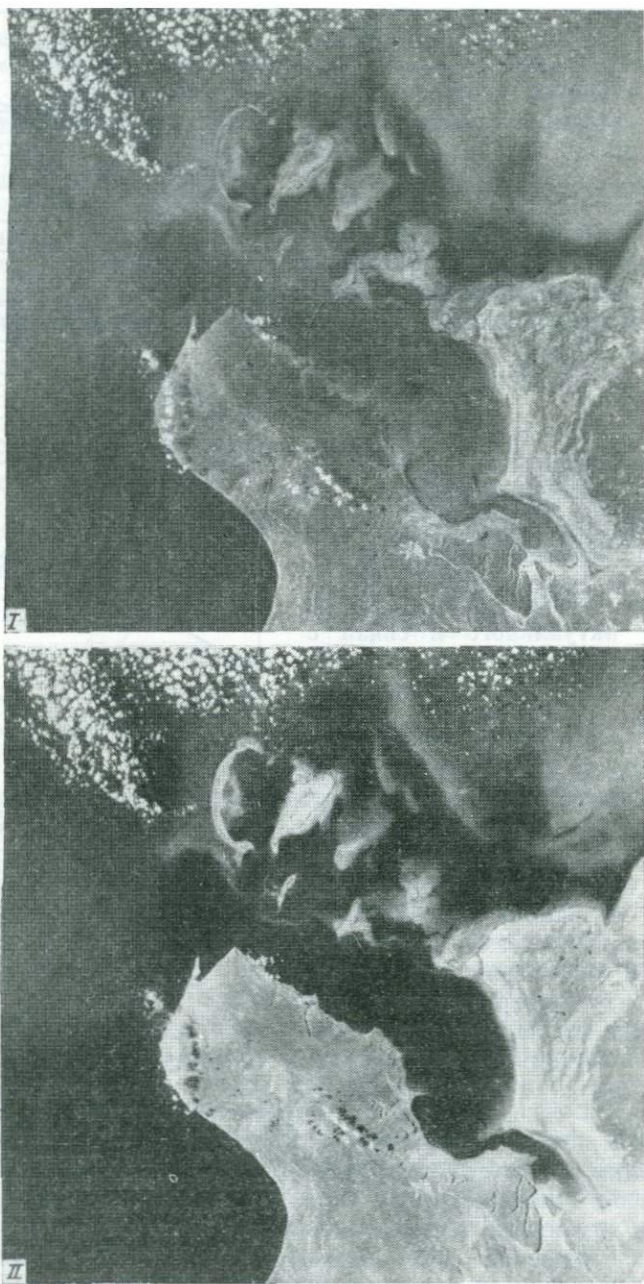


Рис. 2. Результаты визуального дешифрирования подводного рельефа на многозональных снимках на основе разделения плотности изображения  
 I — зона 4, макс. 0,47 мк; II — зона 5, макс. 0,54 мк; III — зона I — макс. 0,58 мк; IV — зоны 6, 2, 3, макс. 0,64; 0,66; 0,68 мк; 1 — поверхность моря на участках со значительными глубинами; 2 — береговая отмель; 3 — поверхность суши



*Рис. 3.* Изображение мелководья Каспия в районе Тюленьего архипелага на снимках, сделанных I — в зеленой (макс. 0,54 мк) и II — в красной (макс. 0,66 мк) зонах спектра

Наибольшей информативностью изображения водных объектов характеризуется 5 зона. Это заключение находится в полном соответствии с выводами предшествующих исследователей и рекомендациями по наиболее эффективным спектральным диапазонам для подводной съемки (Specht, et al., 1973). Наилучший эффект дает сопоставление изображения в этой зоне и в зонах, близких к тем, которые используются при «обычной», многозональной съемке, т. е. в 2, 3 и 6 зонах. Пример такого сопоставления дан на рис. 3 (Советский Союз, 1974). Как видно из приведенных фрагментов, мелководные участки Каспийского моря отразились на космических снимках с большой детальностью, а их изображение в различных зонах спектра характеризуется достаточно резкой дифференциацией.

Различия в изображении вызваны разными причинами и могут быть использованы для решения ряда вопросов:

изучение рельефа дна в мелководной части, выявление отмелей, баров, выходов коренных пород на дне;

изучение распространения водной и подводной растительности и отложений ила;

изучение содержания в воде взвешенных наносов, определение мутности воды, степени загрязнения водоемов.

Для определения возможности изучения по многозональным снимкам рельефа дна проведено сопоставление изображения мелководья Каспия с батиметрическими картами. Оно свидетельствует о том, что на отдельных участках глубины и донный рельеф отображаются на снимках достаточно четко. Например, хорошо обрисовываются светлые пятна отмелей вокруг островов — до глубины 1,5 м. Довольно четко виден южный уступ общего основания островов Тюленьего архипелага, особенно ясно вырисовывающийся южнее о-ва Кулалы; просматриваются системы параллельных борозд и гряд северо-западнее этого острова. На этих участках посветление фототона соответствует уменьшению глубин. Однако это положение справедливо далеко не всегда. Так, увеличению глубин к впадине Уральская Бороздина соответствует не потемнение фототона, а его резкое посветление. И, напротив, районы небольших глубин между островами Тюленьего архипелага изобразились (за исключением приостровных отмелей) темным тоном, по которому здесь можно было бы предположить глубоководные участки.

В Мангышлакском заливе его западная, наиболее глубоководная часть (10—15 м) имеет более светлый тон изображения, чем восточная с глубинами 3—5 м. Эти аномалии сохраняются на снимках, сделанных в различных зонах спектра. Они объясняются тем, что изменение тона изображения обусловлено не только изменением глубин, но кроме этого такими факторами, как распространение растительности, различия донного материала, мутность воды. Это вносит существенные осложнения в дешифрирование рельефа дна.

Для выявления некоторых из этих факторов большой эффект дает использование снимков, сделанных в разных спектральных диапазонах. Так, по многозональным снимкам возможно изучение распространения донной растительности. Как отмечалось выше, на снимках в 2, 3, и 6 зонах темный тон изображения, обычно соответствующий значительным глубинам, распространен и на всем участке вокруг островов Тюленьего архипелага с глубинами 1,5—3 м. Картина проясняется при анализе снимков, сделанных в 4 и 5 зонах. В 4 зоне, для которой характерно общее снижение контрастов, глубокие участки моря изображаются ровным серым тоном, а участок между Тюленьими островами и вдоль побережья п-ова Бузачи — более интенсивным темно-серым тоном. Этот темный контур имеет довольно четкие границы. Еще лучше он вырисовывается на снимках в зеленой зоне. Хорошо видна его фигурная граница, а внутри контура на отдельных участках, например, между островами Кулалы и Морским, выявляется пятнистая структура изображения, которая свидетельствует, что здесь мы имеем дело не с изображением больших глубин. Тон изображения здесь значительно темнее, чем на участках моря южнее п-ова Тюб-Караган, где глубины превышают 20 м. Контур этот интерпретируется как донная растительность, поселяющаяся на породах геологической структуры, продолжающей п-ов Бузачи в море. Интересно, что донная растительность довольно четко приурочена к определенным глубинам — она не распространяется глубже 3 м и от нее свободны песчаные отмели с глубинами меньше 1,5 м.

Заметим, что на цветном снимке синтезированном из снимков в синей, зеленой и красной зонах, изображение донной растительности имеет характерный буровато-коричневый цвет, хорошо выделяющий ее среди других объектов мелководья. Возможность выделения донной растительности по многозональным снимкам с разделением ее изображения от изображения глубоководных участков подтверждается и при инструментальном дешифрировании многозональных снимков, основанном на измерении оптических плотностей негатива  $D^1$ .

Уже простое сравнение регистрограмм, полученных на микрофотометре для одного и того же профиля по снимкам в разных зонах спектра (рис. 4), показывает довольно резкое различие для участков регистрограмм, относящихся к изображению таких объектов, как, например, песчаные отмели, участки с глубинами 1,5—3 м, покрытые песчано-ракушечными отложениями, и участки с донной растительностью, глубоководные участки. Если для регистрограммы, соответствующей изображению песчаных отмелей, характерны резкие пики с преобладанием больших плотностей во всех 6 зонах съемки, то для регистрограммы, изображающей участок, занятый водорослями и илом, характерны равномерные пульсации с малой амплитудой и низкие значения плотности; они

<sup>1</sup> Микрофотометрирование снимков выполнено В. В. Киселевым.

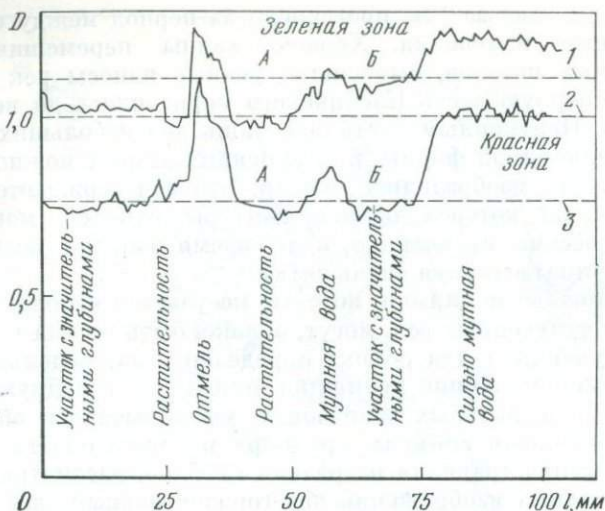


Рис. 4. Регистрограмма измерения плотности изображения мелководья на снимках, сделанных в зеленой (макс. 0,54 мк) и красной (макс. 0,66 мк) зонах спектра 1 — уровень плотности изображения участков с большими глубинами в зеленой зоне; 2 — уровень плотности изображения растительности в зеленой зоне; 3 — уровень плотности изображения участков с большими глубинами и растительностью в красной зоне

здесь минимальны, заметно меньше плотностей изображения других объектов. Это и позволяет выделить водоросли среди других объектов, характеризующихся малыми значениями  $D$ . Например, объекты А и Б (рис. 4) выглядят на регистрограмме в красной зоне одинаковыми, но при сравнении с регистрограммой в зеленой зоне мы легко отделяем объект А (участки глубин 1,5–3 м с растительностью) от объекта Б (более глубокие участки).

Наибольшие трудности при дешифрировании снимков мелководий возникают при наличии мутных вод, содержащих большое количество взвешенного материала в результате волнового перемешивания донных осадков или выноса речных наносов. С таким явлением мы столкнулись и на снимках Каспия. При решении задачи разделения изображения мутных вод и светлых донных объектов, например, отмелей, даже использование спектрально-дифференцированных снимков не всегда позволяет получить ответ. Поскольку водные массы с большим содержанием взвесей в большинстве случаев динамичны, для их выделения целесообразно использование разновременных снимков. На тех участках, изображенне которых в разные сроки изменяется, отражается взмучивание вод и перемещение наносов, а изображение, оставшееся без изменения, рисует нам картину распределения глубин, рельефа или других объектов дна (растительность, донные отложения). Мы произвели сравнение снимков с РК «Союз-12» со снимками с американского ресурсного спутника ЕРТС-1. Изображение района впадины Уральская Бороздина, выделявшегося светлым тоном

на снимках с «Союза-12», претерпело за период между съемками значительные изменения. Хорошо видны перемешивающиеся струи водных потоков, выносящих речные наносы рек Волги и Урала в северную часть Каспийского моря вплоть до восточного побережья. Неизменными остались лишь два небольших светлых контура удлиненной формы, в отношении которых можно утверждать, что здесь изобразились отмели. Это подтверждается и картой глубин, по которой, однако, контуры отмелей могут быть очерчены весьма схематично, в то время как на космических снимках они выделяются очень четко.

Многозональные снимки, которые не удается использовать для выделения взмученных вод, могут, однако, быть весьма полезными для их изучения, когда объект определен. Так, используя положение о разной глубине проникновения лучей в водную среду в различных спектральных диапазонах, мы попытались определить по многозональным снимкам «рельеф» мутевого облака или границы его распространения на разной глубине, рассматривая каждое из зональных изображений как горизонтальный срез мутевого облака на определенной глубине. Результаты такого определения показаны на рис. 5.

Формы рельефа морского дна отразились на снимках частично — этому мешает и наличие донной растительности, и, особенно, изображение взмученных вод. Тем не менее при внимательном анализе выделяется ряд форм, отражаемых на крупномасштабной батиметрической карте и отмеченных при подводных исследованиях (Андреев и др., 1971). К ним относится система параллельных гряд и борозд на глубинах 3—5 м, расположенных северо-западнее о-ва Кулалы, и резкий уступ южнее этого острова. Некоторые формы рельефа дна, выявляемые по космическим снимкам, прежде на картах не отмечались. Так, у западного окончания п-ова Бузачи на отмелях видны серии параллельных берегов валов, а в юго-восточной части Мангышлакского залива — грядовой рельеф мелководий, образовавшийся, очевидно, в результате сгонно-нагонных явлений.

Результаты дешифрирования использованы для составления ландшафтной схемы мелководной акватории северо-восточного Каспия (рис. 6). Она дает представление об основных типах подводных природно-территориальных комплексов (ПТК) и закономерностях их распределения. Аэровизуальный контроль подтвердил хорошую надежность составления таких схем по многозональным космическим снимкам. Ландшафтное изучение и картографирование морских мелководий только начнет развиваться и еще нет материалов, характеризующих ландшафты береговой зоны на значительных акваториях (Гурьева и др., 1968). Применение многозональных космических снимков позволяет сделать первые шаги на пути решения этой проблемы.

Второй объект, на примере которого удобно проиллюстрировать эффективность многозональной съемки, — засоление террито-

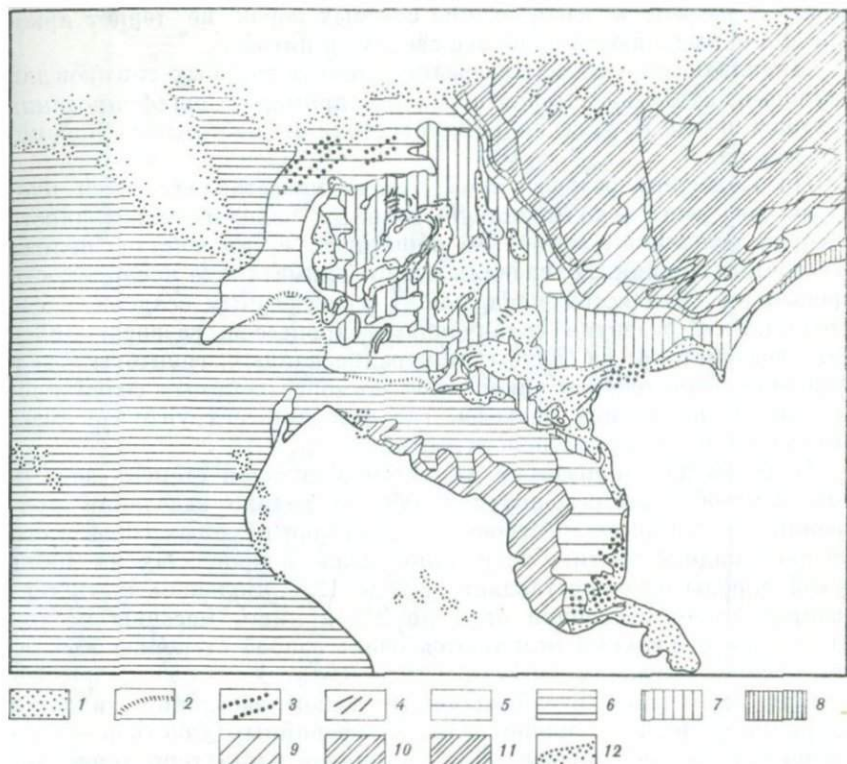


Рис. 5. Результаты дешифрирования мелководной акватории северо-восточного Каспия в районе Тюленьего архипелага по многозональным снимкам 1—6 — формы рельефа дна: 1 — песчаные отмели с глубинами до 1,5 м, 2 — уступы, 3 — гряды и борозды, 4 — подводные бары, 5 — участки средних глубин (3—5 м) с слабо просматриваемым донным рельефом, 6 — участки значительных глубин (более 5 м) с непросматриваемым донным рельефом; 7, 8 — растительность: 7 — заросли подводной растительности, 8 — заросли подводной растительности и отложений ила; 9—11 — загрязнение вод (участки волнового взмучивания и выноса твердого стока временных водотоков): 9 — загрязнение вод в придонном слое, 10 — загрязнение вод в среднем слое, 11 — загрязнение вод в приповерхностном слое; 12 — облака

рии. Участки солончаков и соров в аридных районах часто сочетаются с песчаными массивами. Светлые контуры песков и солончаков слабо различаются на космических снимках. При многозональной съемке такое же плохое разделение наблюдается на снимках, сделанных в красной части спектра (зона 2), наиболее оптимальной для дешифрирования большинства объектов. Анализ их изображения на снимках 4 зоны, на первый взгляд, мало-выразительных и наименее информативных, показывает, что в этой зоне удастся разделить названные объекты. Контраст изображения большинства объектов, в том числе и песков, на этих

снимках падает, а изображение солевых корок не теряет яркости, и они выделяются наиболее светлыми пятнами.

Проиллюстрируем использование многозональных снимков для изучения засоления территории на примере дешифрирования снимков п-ова Бузачи на северо-восточном побережье Каспийского моря.

По характеру рельефа п-ов Бузачи представляет собой плоскую, местами всхолмленную равнину, общую монотонность которой осложняют несколько обширных и множество мелких бессточных впадин. В условиях сухого климата, где испаряемость превышает количество выпадающих атмосферных осадков, здесь наблюдается развитие солончаковых процессов, развивающихся при воздействии на почвы минерализованных грунтовых вод. Особенно значительное накопление легкорастворимых солей происходит в депрессиях рельефа, где засоленные грунтовые воды находятся неглубоко от поверхности.

В целом для территории характерна сильная степень засоления почвообразующих пород. Особенно велико засоление прибрежных участков полуострова и территории крупных соров в его северо-западной части. Содержание солей в процентах на 100 г сухой породы здесь составляет от 2 до 12%. Большая часть территории имеет засоление от 1 до 2% и лишь массивы песков Кызылкуп и Увахкуп отличаются очень слабой степенью засоления почвообразующих пород от 0,01 до 0,5%.

Для солончаков преобладающим типом засоления является хлоридно-натриевое, причем для периферийных участков — хлоридно-сульфатнонатриевое. Для остальной части территории типичным является сульфатно-кальциевое засоление (Вышивкин, 1959, 1970).

Светлые пятна засоленных территорий солончаков и солонцов хорошо видны на снимках в 1, 2, 3 и 6 зонах. Больше всего тоновых различий, которые отражают различную степень засоления, можно выделить во 2 зоне. Прослеживается такая общая закономерность: чем светлее тон изображения, тем больше степень засоления. Участки, где поверхность покрыта корочкой соли, изобразились светло-серыми, почти белыми.

При дешифрировании снимков, выполненных во 2 зоне (рис. 7), можно выделить три степени засоления: 1) очень сильное засоление, участки с солевой корочкой на поверхности (очень светло-серый, почти белый тон изображения); 2) сильное засоление (светло-серый тон изображения); 3) не очень сильное засоление (серый тон изображения).

На снимках в 4 зоне изображение более расплывчатое, поэтому точную рисовку контуров произвести трудно (на схеме дешифрирования они показаны пунктиром). Участки, где соль выступает на поверхности почвы, так же, как и в других зонах, выделяются наиболее светлым тоном. Но по сравнению со снимками в 1, 2, 3, 6 зонах количество таких светлых участков с выходами соли на

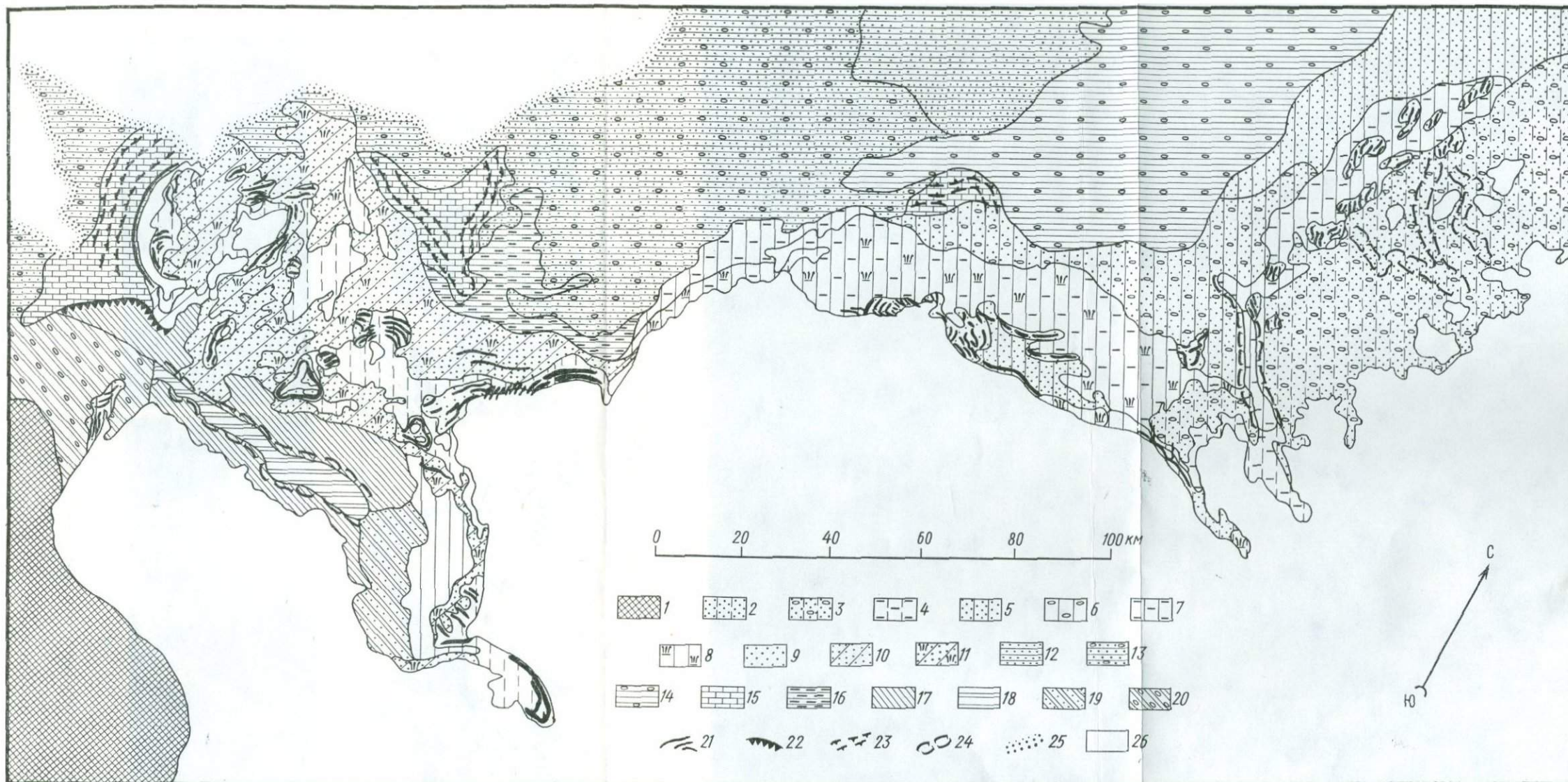


Рис. 6. Ландшафтная схема мелководной акватории северо-восточного Каспия у побережья п-ова Мангышлак и Бузачи

Подводные ПТК: 1 — наклонная абразионно-аккумулятивная равнина подводного берегового склона (глубины более 20 м), сложенная песчано-ракушечными отложениями; 2—4 — плоская нерасчлененная прибрежная равнина осушки (глубины до 1,5 м), сформированная стогно-нагонными течениями; 2 — сложенная песчаными отложениями, 3 — сложенная песчано-ракушечными отложениями, 4 — сложенная илстыми отложениями; 5—8 — плоская нерасчлененная равнина мелководья (глубины до 5 м), сформированная стогно-нагонными течениями; 5 — сложенная песчаными отложениями, 6 — сложенная песчано-ракушечными отложениями, 7 — сложенная илстыми отложениями, 8 — сложенная илстыми отложениями с подводной растительностью; 9 — волнисто-гридовая равнина с подводными барями (глубины до 3 м), созданная волновой аккумуляцией; 10—18 — плоско-волнистая равнина мелководья, сформированная волновой аккумуляцией, с неровностями дна, обусловленными погребенным рельефом континентального происхождения; 10, 11 —

волнистое поднятие с островами (глубины до 3 м), сложенное песчаными отложениями (10) и песчаными отложениями с подводной растительностью (11), 12—16 — плоская равнина без существенных неровностей дна (глубина 3—8 м), сложенная: 12 — песчаными отложениями, 13 — песчано-ракушечными отложениями, 14 — ракушечными отложениями, 15 — с выходами коренных пород, 16 — илстыми отложениями; 17 — склоны древней эрозионной ложбины (глубины 3—15 м), сложенные песчано-ракушечными отложениями; 18 — днище древней эрозионной ложбины (глубины 7—15 м), сложенное илстыми отложениями; 19, 20 — плоская наклонная равнина подводного берегового склона (глубины 8—20 м), сформированная волновой аккумуляцией, сложенная песчаными отложениями (19) и ракушечными отложениями (20); 21 — бары; 22 — уступы; 23 — выходы пластов коренных пород; 24 — древние эрозионные ложбины; 25 — облака; 26 — поверхность суши

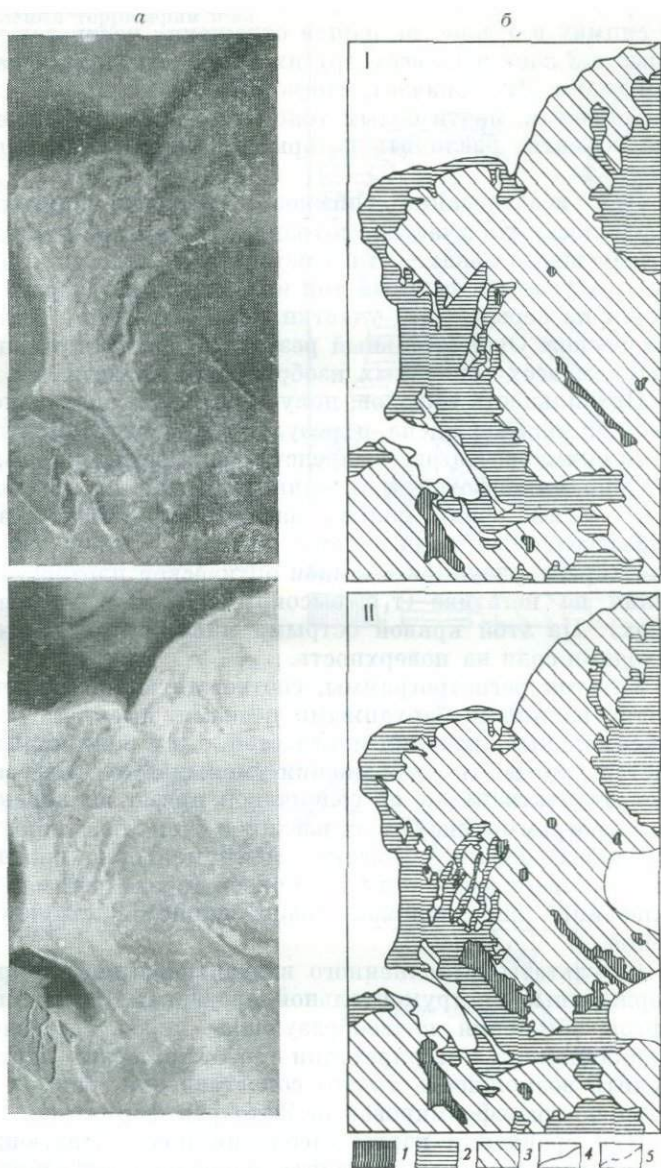


Рис. 7. Результаты дешифрирования (б) засоления территории западной части полуострова Бузачи по космическим фотоснимкам (а), полученным в различных зонах спектра

I — зона 4 (макс 0,47 мк); II — зона 2 (макс. 0,66 мк); 1 — участки очень сильного засоления с солевой коркой на поверхности; 2 — участки сильного засоления; 3 — участки от слабого до сильного засоления; 4 — четко выделяющиеся контуры; 5 — нечетко выделяющиеся контуры

поверхность значительно меньше, поэтому на схеме, составленной по снимку в 4 зоне, не нашла отражения часть тех участков, которые в 2 зоне и во всех других зонах выделялись наиболее светлым тоном. Это означает, что во всех зонах, кроме 4, одинаковым светло-серым, почти белым тоном изображаются качественно разные объекты, различить которые можно только при помощи 4 зоны.

При исследовании снимков с помощью других источников выяснилось, что участки, сохраняющие светлый тон изображения во всех шести зонах,— это действительно выходы соли на поверхность, а участки, светлый тон изображения которых в 4 зоне меняется на серый,— это участки незакрепленных светлых барханных песков. Окончательный результат дешифрирования с использованием всех зональных изображений представлен на рис. 8.

Правильность выводов, полученных при визуальном дешифрировании, подтверждена и результатами инструментальной обработки снимков. На рис. 9 представлены регистрограммы, полученные при микрофотометрировании снимков по профилю, проходящему через очень сильно засоленные участки, захватывая и слабозасоленные территории с песками. Сильно засоленные участки характеризуются большой оптической плотностью их изображения на негативе (т. е. высоким положением кривой во всех зонах). На этой кривой острыми пиками выделяются участки с выходами соли на поверхность.

Участок регистрограммы, соответствующий районам, занятым незакрепленными барханными песками, имеет в 1, 2, 3, 6 зонах максимальные значения плотностей, а в 4 зоне кривая резко снижается, плотность изображения уменьшается. Это свойство позволяет отличать пески от солончаков прямо по характеру кривой. Регистрограммы рисуют их различие очень наглядно.

Слабозасоленные участки имеют меньшую плотность изображения во всех зонах и для их кривой характерна малая амплитуда колебаний, определяемая мелко-зернистой структурой изображения.

Результаты выполненного визуального дешифрирования, подтвержденные инструментальной проверкой, были сопоставлены с картой засоления почвообразующих пород, составленной путем индикационной интерпретации геоботанических карт. Чтобы обеспечить возможность такого сопоставления, снимок был предварительно трансформирован на фототрансформаторе.

При сравнении карты засоления почвообразующих пород со снимком мы пытались выяснить, насколько четко прослеживаются на снимке те многочисленные градации засоления, которые выделяются на карте (их насчитывается 12, причем 5 из них попадают на исследуемый участок), и, с другой стороны,— оценить правильность картографического рисунка, контролируя его фотонизображением. Результаты анализа позволили сделать следующие выводы:

Рис. 8. Результаты дешифрирования засоления территории п-ва Бузачи с использованием снимков, полученных в 4 (макс. 0,47 мк) и 2 (макс. 0,66 мк) зонах

1 — участки очень сильного засоления с солевой коркой на поверхности; 2 — участки сильного засоления; 3 — участки с засолением от слабого до сильного; 4 — пески

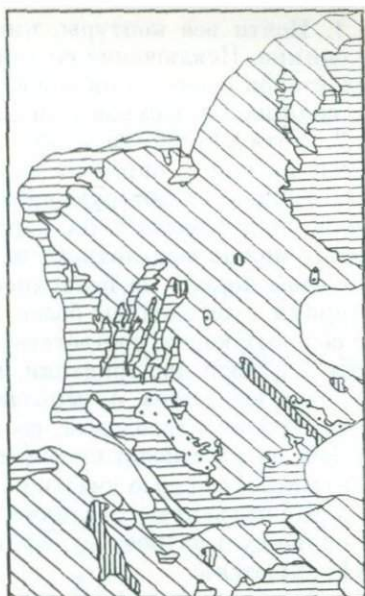
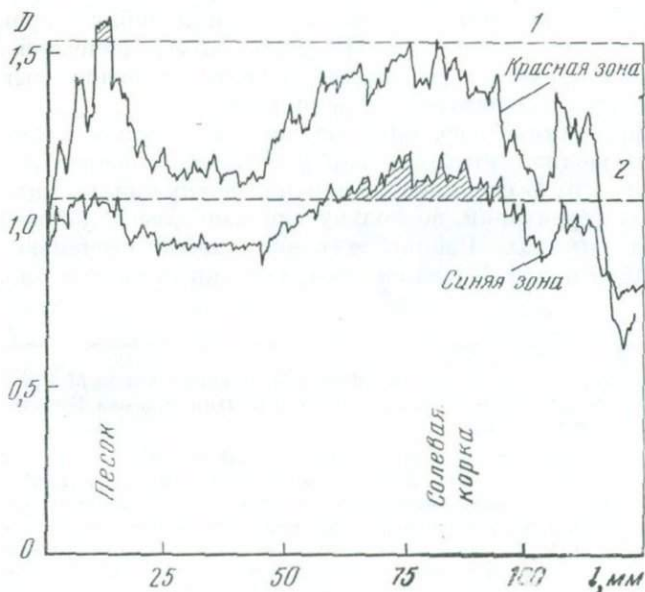
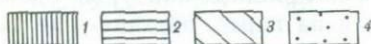


Рис. 9. Гегистрограмма измерения плотности изображения песков и солончаков на снимках, сделанных в синей (макс. 0,47 мк) и красной (макс. 0,66 мк) зонах спектра

1 — уровень плотности изображения солевых корок в красной зоне; 2 — уровень плотности изображения песка в синей зоне



1. Почти все контуры, имеющиеся на карте, можно опознать на снимке. Исключение составляют границы территорий, на которых степень засоления почвообразующих пород очень мала — до 1% соли на 100 г сухой породы.

2. Хотя на снимке можно опознать почти все контуры, имеющиеся на карте, определить по тону снимка степень засоления с той дробностью, которую дает карта, невозможно. Вместо 12 градаций, показываемых на карте, с достаточной уверенностью по снимку можно выделить лишь три: а) участки сильного засоления с солевой коркой на поверхности, соответствующие на карте территориям с засолением более 2%; б) участки сильного засоления без солевых корок, соответствующие также участкам с засолением более 2% (эти две градации, не разделяемые на карте, четко могут быть выделены с использованием снимков); в) участки не очень сильного засоления, соответствующие территориям с содержанием солей в подстилающих породах до 2%. Иногда можно выделить и переходные участки.

3. Качественные различия в характере засоления (хлоридное, хлоридно-сульфатное, сульфатное засоление) визуально не дешифрируются.

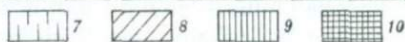
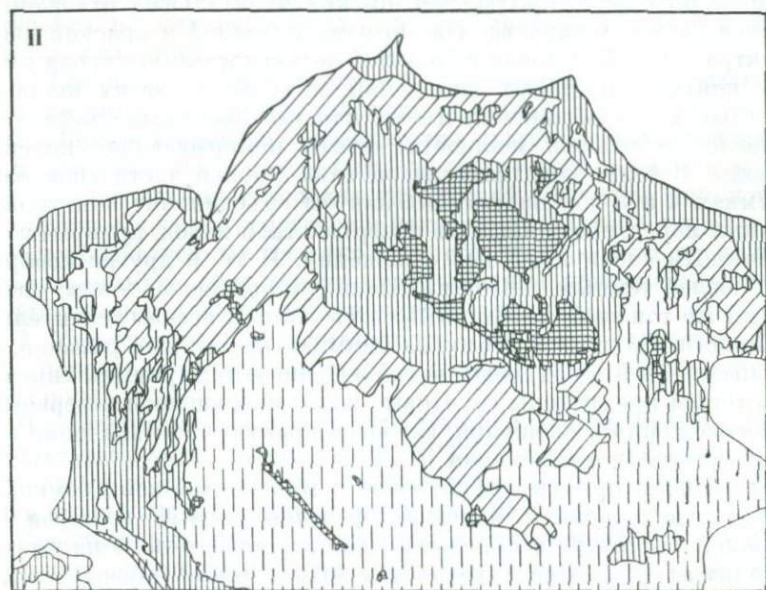
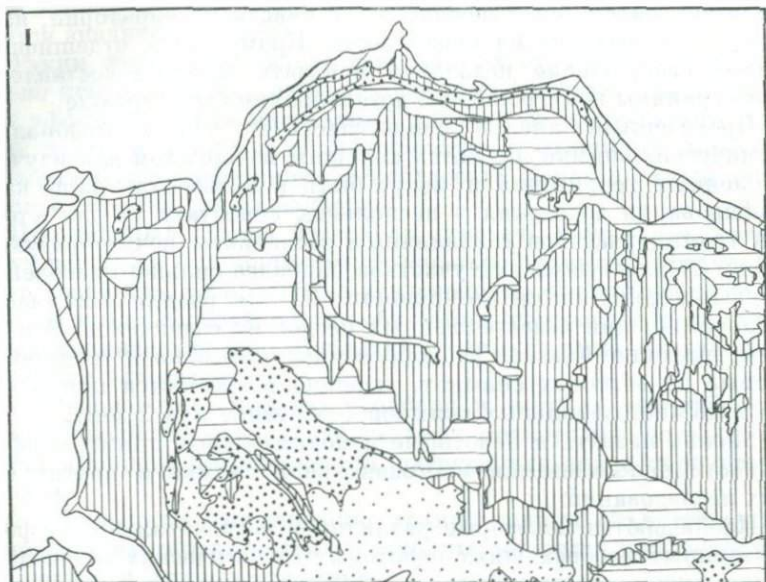
4. Границы контуров, однозначно интерпретируемых на снимке и на карте, частично не совпадают, что обусловлено неточностью карты, для составления которой использована довольно старая основа. Из-за плохой доступности территории для полевых маршрутов, недостатка точных ориентиров для привязки на местности и невозможности использовать аэрофотоснимки при составлении карты на огромные территории, такие ошибки в проведении контуров вполне закономерны. Наличие фотографической основы, по масштабу близкой к составляемой карте, позволяет выполнить рисовку контуров значительно правильнее.

Дешифрирование засоления по многозональным космическим снимкам позволило уточнить карту засоления почвообразующих пород (рис. 10). В основном, изменения коснулись границ сильно засоленных территорий, поскольку они наиболее детально изображены на снимках. Районы с очень слабой степенью засоления остались почти без изменений, так как снимок не позволяет

---

Рис. 10. Фрагмент карты засоления почвообразующих пород М 1:500 000 (I) и результаты дешифрирования засоления территории п-ова Бузачи по многозональным снимкам (II)

I — Степень засоления на карте (в процентах на 100 г сухой породы): 1 — 0,01—0,25%; 2 — 0,26—0,5%; 3 — 1,01—2,0%; 4 — 1,01—12,0%; 5 — 2,01—12,0%; 6 — 0,25—12,0%; II — Степень засоления, выявленная по снимкам: 7 — не очень сильное засоление, соответствующее содержанию солей менее 2%; 8 — переходный тип между не очень сильным и сильным засолением, соответствующий содержанию солей около 2%; 9 — сильное засоление, соответствующее содержанию солей более 2%; 10 — очень сильное засоление (участки с солевой коркой на поверхности), соответствующее содержанию солей более 2% (до 12%)



определить степень засоления, если она составляет менее 1% соли на 100 г сухой породы.

К числу выделяемых градаций засоления на уточненной карте добавлена категория, относящаяся к участкам территории, на которых соль выходит на поверхность. Кроме этого, отдешифрированное изображение позволило показать на вновь составленной карте границы контуров более детально, чем были прежде.

Проведенный анализ свидетельствует, что многозональные космические снимки являются хорошим материалом для изучения засоленных территорий и могут быть использованы при картографировании засоления в нескольких аспектах: 1) для уточнения границ участков с различным засолением почвообразующих пород; 2) для выявления участков наиболее сильного засоления с солевыми корками на поверхности; 3) для разделения участков распространения незакрепленных песков от солончаков. Эти объекты, имеющие близкие дешифровочные признаки и трудноразделяемые на обычных снимках, успешно разделяются при использовании многозональных снимков (сочетание 4 и 2 зон).

Можно назвать и некоторые дополнительные примеры эффективности использования многозональной съемки в других областях исследований.

Наблюдаются некоторые различия и в спектрально-дифференцированных изображениях некоторых геологических образований, помогающие геологическому дешифрированию. Так, на снимках, сделанных в разных зонах спектра, по-разному изобразились коренные породы, покрытые чехлом континентальных отложений — песков разной мощности. На снимках в желтой и красной частях спектра в 1, 2, 3, 6 зонах с большой детальностью выступают светлые контуры песчаных отложений, независимо от их мощности. Светлый тон изображения имеют как мощные толщи песков, так и пески небольшой мощности, слегка прикрывающие коренные породы. В более коротковолновой сине-зеленой части спектра, на снимках 4 и 5 зон происходит как бы объединение контуров коренных пород, выходящих на поверхность, и пород, прикрытых маломощным слоем песчаных отложений. И те и другие изобразились более темным, чем окружающие территории, тоном; светло-серый же тон изображения относится лишь к пескам значительной мощности. Благодаря этому на снимках пустынных районов, сделанных в 4 и 5 зонах, более четко очерчиваются границы синеклиз, к которым приурочены грунтовые воды, являющиеся резервом для водоснабжения и орошения. Большое практическое значение этого факта не требует пояснения.

Еще один пример эффективности многозональной съемки связан с изображением дымовых факелов лесных пожаров. При сложной структуре изображения земной поверхности на снимках в видимом диапазоне находится довольно много объектов, по яркости близких к изображениям дымов, например, светлые пятна солончаков, песков. При использовании снимков, сделанных в ко-

ротковолновой синей части спектра (зона 4), где наиболее сильно сказывается влияние атмосферной дымки, изображение дымового факела приобретает повышенную яркость по сравнению с объектами земной поверхности. Поэтому дымы на таких снимках выделяются значительно четче.

Таким образом, выявляется некоторый круг объектов, сравнительно небольшой, для изучения которых многозональная съемка дает эффект уже при визуальной работе с ее материалами. Вероятно, инструментальное дешифрирование с машинной обработкой позволит более эффективно использовать «спектральный образ» объектов съемки для их изучения.

Проведенный анализ позволяет наметить круг задач, которые могут решаться с помощью многозональной съемки. Помимо сельского хозяйства, которое было исключено из рассмотрения по указанным выше соображениям, областями первоочередного применения космических многозональных снимков типа полученных с КК «Союз-12» являются:

1. Океанология, морская геология и морская геоморфология, рыбное хозяйство — изучение рельефа мелководий, донных отложений и водной растительности, загрязнения вод и перемещения наносов.

2. Гидрология — определение границ водных объектов суши и некоторых их характеристик — глубины, мутности вод, водной растительности, донных отложений.

3. Почвоведение и геоботаника — изучение процессов и степени засоления почв, картографирование засоленных почв и развивающейся на них растительности, изучение растительных индикаторов засоления.

4. Геология — изучение степени засоления пород, распространения песков, мощности рыхлых отложений.

5. Лесное хозяйство — определение очагов лесных пожаров.

6. Экономическая география — изучение использования земель, определение границ городских территорий, изучение районов добычи соли. Сюда же относится и сельское хозяйство — определение сельскохозяйственных культур и их состояния, — хотя на примере данных снимков этот аспект использования при визуальном дешифрировании пока не продемонстрирован.

7. Метеорология и климатология — изучение структур облачного покрова, содержания влаги в облаках, содержания аэрозоли в воздухе.

Появившиеся в последние годы многочисленные публикации по результатам работ со снимками ЕРТС-1 свидетельствуют о том, что основные направления использования многозональных снимков в американских исследованиях — те же самые.

Довольно активно используются многозональные снимки для изучения акваторий и, в частности, загрязнения вод. Разрабатываются методы автоматизированного видения различных категорий использования земель, определения посевов разных сельско-

хозяйственных культур и их состояния, выявления заболевания растений. Применяются многозональные снимки и для изучения состава слагающих земную поверхность пород, в частности, по ним удается выделить районы распространения железосодержащих руд.

Немаловажный эффект многозональной съемки заключается в возможности получить по снимкам, сделанным в разных зонах, цветного или цветокодированного изображения. При печати таких синтезированных снимков можно вносить поправки за спектральное светорассеяние в атмосферном слое, как это было сделано при синтезе цветного снимка п-ова Мангышлак<sup>2</sup>. Еще более существенна возможность оперативного получения цветного изображения по сканерным снимкам. Дешифрирование именно таких цветокодированных снимков, как это видно на примере использования снимков с ЕРТС-1, осуществляется с наибольшей эффективностью и наиболее широко — не только в выделенных выше сравнительно узких областях исследований, а при решении широкого спектра географических задач. Привлечение же зональных черно-белых изображений целесообразно лишь в отдельных случаях, для нескольких отраслей исследований, охарактеризованных выше.

Ближайшие задачи в области применения многозональной съемки заключаются, на наш взгляд, в следующем:

1. Дальнейшее уточнение круга объектов, для изучения которых эффективно использование многозональной съемки.

2. Выявление наиболее оптимальных для отражения этих объектов узких спектральных съемочных диапазонов и их сочетаний.

3. Получение многозональных снимков для различных типов территорий, анализ этих снимков на примере эталонных территорий с полевым обеспечением изучения заснятых объектов, включая изучение их спектральной яркости. Анализ многозональных снимков, полученных синхронно с различных высот, для выявления атмосферного влияния в различных зонах спектра.

4. Отработка методики дешифрирования многозональных изображений — визуального, измерительного и, наконец, автоматизированного. Последние представляют задачи большой сложности, потребуют создания специальных приборов и разработки алгоритмов, но решение их, хотя бы частичное, необходимо.

## ЛИТЕРАТУРА

- Андреев В. В., Добрынина Т. А., Игнатов Е. И. и др. Рельеф дна и донные отложения Мангышлакского порога. — В кн.: Комплексные исследования Каспийского моря. М., Изд-во МГУ, 1971.
- Вышицкий Д. Д. Исследование растительности для познания засоления почвообразующих пород пустынь на примере полуострова Мангышлак. Автореф. канд. дис. М., Изд-во МГУ, 1959.

<sup>2</sup> Работа выполнена Ю. И. Фивенским.

- Вышивкин Д. Д. Особенности засоления Северного Казахстана по геоботаническим данным.— *Вопр. географии*, 1970, вып. 82.
- Гурьева З. И., Петров К. М., Рамм Н. С., Шарков В. В. Геолого-геоморфологическое изучение морских мелководий и берегов по материалам аэрофотосъемки. Л., «Наука», 1968.
- Заитов И. Р., Цупрун С. И. Аэрофотоаппарат для выбора типа пленки.— *Изв. ВУЗов. Сер. геод. и аэрофотосъемка*, 1962, № 3.
- Советский Союз, 1974, № 4.
- Charnell R. L., Maulberge A. Oceanic observation of New York Bight by ERTS-1.— *Nature*, 1973, v. 242, N 5399.
- Specht M. R., Needler D., Fritz N. L. New color film for water photography penetration.— *Photogram. Eng.*, 1973, v. 39, N 4.



В. Л. Андроников

## ИЗУЧЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

За последние годы в нашей стране и за рубежом успешно развивается новый способ сбора информации о природных ресурсах, который получил название «дистанционная регистрация». Он состоит в том, что без непосредственного контакта с изучаемым объектом с высоты полета самолета или искусственного спутника Земли (ИСЗ) возможно регистрировать отражаемые и излучаемые с земной поверхности электромагнитные волны.

Совокупность методов исследования и картирования с самолета, ИСЗ, вертолета и других летательных аппаратов почвенного покрова и посевов сельскохозяйственных культур относится к аэрокосмическим методам изучения Земли. Физические свойства и характеристика почв и сельскохозяйственных посевов могут регистрироваться с помощью различных приборов в разных зонах электромагнитного спектра длин волн. В зависимости от этого аэрокосмические методы подразделяются на аэрофотографические и фотоэлектронные.

### АЭРОФОТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ПОЧВ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

При аэрофотографических методах для регистрации информации о почвенно-растительном покрове используются аэрофотоаппараты и фотографические пленки различной чувствительности. Они применяются по всей видимой части спектра (0,4—0,8 мк) и в ближней инфракрасной (0,8—1,1 мк). Аэрофотографические методы,

применяемые для почвенно-сельскохозяйственных целей с конца 20-х годов нашего века, к настоящему времени достаточно хорошо освоены. В 1927 г. в Ферганской долине под руководством В. Ф. Дейнеко была произведена аэрофотосъемка для сельскохозяйственных целей.

Эти аэрофотоматериалы здесь впервые были использованы для почвенных и землеустроительных целей. С развитием аэросъемки Прасолов (1931), Гавеман и Ливеровский (1953), Ливеровский (1957), Ковда (1969) отмечали необходимость разработки и большие перспективы применения аэрофотографических методов для изучения почвенного покрова.

За последние 15—20 лет в разных почвенно-географических зонах нашей страны были проведены многочисленные экспериментально-методические работы по изучению почвенного покрова и его картографированию на основе использования материалов аэрофотосъемки.

Углубленные исследования были выполнены по изучению характерных особенностей дешифрирования почв в лесной и лесостепной, степной и сухостепной зонах и при исследовании почв пустынных территорий. Начаты исследования по применению аэрометодов при специальных почвенных исследованиях: при изучении эродированных почв и разработке противоэрозионных мероприятий; при почвенно-мелиоративных исследованиях и картографировании вторично засоленных почв в целях их мелиорации; при почвенном районировании. Проведены опыты по использованию аэрометодов для оценки состояния сельскохозяйственных культур, разработке дешифровочных признаков для оценки изображения пашни и посевов. Большинство исследований, выполненных по применению аэрофотографических методов для изучения почвенного покрова, охватывают основную теоретическую проблему — разработку принципов дешифрирования почв и вопросы практического применения материалов аэрофотосъемки при составлении детальных, крупномасштабных и среднемасштабных почвенных карт.

Задачи почвенного дешифрирования состоят: во-первых, в выявлении и оконтуривании на аэроснимках генетических разновидностей почвенного покрова — контурное почвенное дешифрирование; во-вторых, в определении и анализе выявленных на аэроснимках почвенных контуров — генетическое почвенное дешифрирование.

Основные принципы почвенного дешифрирования состоят в следующем:

1. Почвенный покров может изображаться на аэроснимках непосредственно в случае распашки территории (на полях, не покрытых культурной растительностью) и косвенно (через изображение растительности).

2. При непосредственном изображении поверхности почвы на аэроснимках важное значение при дешифрировании почвенного

покрова будут иметь такие признаки, как рисунок и тон (на цветных аэроснимках — цвет) изображения поверхности почвы, характер взаимосвязи почв с рельефом, а также форма и размер почвенных контуров.

3. Почва, как природный объект, имеющий определенное строение генетического профиля и различные почвенные горизонты, не изображается на аэроснимках, кроме поверхностного горизонта, который, однако, генетически связан со всем профилем почвы. Поэтому, анализируя изображения поверхностного горизонта на аэроснимках, можно определять смену, границы почв, а при проведении полевых исследований, при составлении образцов дешифрирования — определять почвы.

4. При непосредственном дешифрировании почвенного покрова по поверхности почв важное значение будут иметь такие показатели, как содержание в верхнем горизонте гумуса, карбонатов, солей, влаги. Существенное влияние на различное изображение почв на аэроснимках оказывают окультуренность, механический состав, каменистость, оподзоленность, солонцеватость, эродированность.

5. При покрытии поверхности почвы растительностью основное значение для дешифрирования почвенного покрова будет иметь установление дешифровочных корреляций между растительностью, рельефом и почвой. Основными дешифровочными признаками будут рисунок и тон (на цветных аэроснимках — цвет) изображения растительности, форма и размер растительных (и почвенных) контуров, их взаимосвязь с рельефом. В этом случае косвенного дешифрирования почвенного покрова через непосредственное изображение на аэроснимках растительности необходимо различать три варианта: дешифрирование почв через: а) сельскохозяйственные посевы; б) естественную травянистую растительность; в) лесную и кустарниковую растительность.

6. На степень дешифрируемости почвенного покрова по аэроснимкам существенное влияние оказывают природные и технические условия съемки. Среди них важное значение имеют: освещенность земной поверхности, которая зависит от положения солнца относительно горизонта; прозрачность и толщина атмосферы, заключенной между объективом аэрофотоаппарата и фотографируемым ландшафтом; сезон и масштаб съемки.

Повышение дешифровочных свойств аэрофото материалов связано также с использованием инфракрасных и многозональных аэроснимков. Рассмотрим применение этих материалов.

## ИНФРАКРАСНАЯ АЭРОСЪЕМКА

Инфракрасное излучение представляет собой электромагнитное излучение, охватывающее спектральную область между красным концом видимой части спектра с длиной волны 0,74 мк и коротковолновым радиодиапазоном с длиной волны 1—2 мм. Ее условно

подразделяют на ближнюю с длиной волны 0,74—2,5 мк, среднюю 2,5—50 мк и дальнюю 50—2000 мк. Различают, во-первых, инфракрасную фотографическую съемку в ближней инфракрасной (0,74—1,1 мк) зоне спектра, которая выполняется в дневное время на инфрахроматическую пленку; во-вторых, инфракрасную фотоэлектронную съемку, выполняемую с помощью инфракрасных радиометров.

Согласно международной терминологии, первый вид съемки обозначается как IR photography (ИК-фотография), второй IR imagery (ИК-изображение). В этом разделе укажем возможности ИК-фотографий для изучения почвенного покрова и сельскохозяйственных посевов. Применения ИК-изображений будут рассмотрены ниже при анализе фотоэлектронных методов съемки.

В первом случае инфракрасная съемка производится на инфрахроматические пленки, которые маркируются по спектральному положению максимума чувствительности на: И-720, И-740, И-760, И-810 и т. д. В результате инфракрасной съемки получают черно-белые аэроснимки, сходные с панхроматическими. Сравнительный анализ изображения почвенного покрова на аэроснимках, полученных с панхроматической и инфракрасной пленки, показал следующее. В лесостепной зоне на этих снимках сходное фотоизображение светлого тона имеют сухие участки распаханых светло-серых песчаных и супесчаных почв. Контуры темно-серых лесных, черноземы, лугово-черноземные распаханые изображаются на инфрахроматических аэроснимках более темным тоном, чем на панхроматических. Очень важное обстоятельство совместного использования панхроматических и инфрахроматических аэроснимков состоит в том, что на них естественная растительность и сельскохозяйственные посевы изображаются разным тоном. На инфрахроматических снимках они имеют более светлый тон, при этом чем более сильно увлажнена территория, тем светлее ее фотоизображение. В результате очень резко и уверенно на инфрахроматических аэроснимках дешифрируется почвенный контраст дерново-глеевых и серых лесных почв, серых лесных глеевых и черноземов, аллювиальных дерново-луговых и дерново-глеевых и черноземов.

На панхроматических аэроснимках эти различия почв видны слабо или полностью отсутствуют. Виноградов (1966) указывает на ограниченные возможности применения этой пленки для изучения почвенно-растительного покрова аридных зон. При съемке на эту пленку сухие участки бурых пустынно-степных почв, солонцов сливаются по фотоизображению с растительностью. Применение инфракрасной пленки перспективно для изучения ландшафтов гумидной зоны (Пронин, 1949; Aldrich, 1971). В лесной зоне применение инфрахроматической пленки И-760 с темно-красным светофильтром позволило успешно различать леса с господством хвойных и лиственных пород. Это может служить хорошим косвенным признаком при выделении дерново-подзолистых и подзолистых почв разной степени оподзоленности.

Применение инфракрасной пленки в почвенных целях может быть рекомендовано для выявления почв разной степени увлажнения, глеевых, заболоченных. Очень эффективно применение этой пленки для выделения распаханых участков среди естественной растительности, для дешифрирования контуров луговых и аллювиальных (пойменных) почв. С большим успехом применение этой пленки может быть осуществлено при почвенно-мелиоративных работах в нечерноземной зоне РСФСР и в орошаемых районах страны.

#### МНОГОЗОНАЛЬНАЯ АЭРОСЪЕМКА ПОЧВ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Многозональный аэрофотографический метод изучения почв и сельскохозяйственных посевов состоит в том, что один и тот же участок земной поверхности фотографируется одновременно с помощью нескольких фотокамер, чувствительных к разным зонам спектра. С помощью применения различных светофильтров весь видимый и ближний инфракрасный спектр можно разбить на несколько узких спектральных диапазонов, каждый из которых отражает определенные признаки и свойства почвенного покрова. Так, при съемке камерой с 4 объективами используются красный, зеленый, синий и инфракрасный светофильтры. В дальнейшем, получая одно совмещенное изображение и меняя комбинации светофильтров и яркость освещения, можно получить различные варианты изображения земной поверхности. Путем подбора изображений из них получают снимок, обладающий наибольшей информацией о почвенном покрове и характере сельскохозяйственных культур.

Для изучения почв и сельскохозяйственных посевов важное значение имеют многоспектральные камеры, имеющие 4—9 объективов с различными фильтрами. Снимки, получаемые с помощью этих камер, позволяют дешифрировать объекты, видимые в одних лучах спектра и невидимые в других (Anson, 1970). В США на принципе многозонального фотографирования создана электронная аппаратура, объединяющая телевизионную и вычислительную технику, которая превращает серые тона черно-белой фотографии в широкую гамму цветного изображения. Для обозначения 32 ступеней серой шкалы тонов используются различные комбинации голубого, зеленого и красного цветов. С помощью специального анализатора можно определить в процентах величину отношения площади какого-либо цвета к общей площади изображения.

В 1973 г. ИКИ АН СССР была выполнена многозональная съемка почвенного покрова степной зоны с помощью фотоаппарата АФА-39М с набором светофильтров в 6 различных зонах спектра. Для дешифрирования одного из участков Курского полигона, охватывающего водораздел, склоны и пойму степной реки, исполь-

зовались аэроснимки М 1 : 40 000. Для сравнительного изучения были отобраны черно-белые аэроснимки весеннего времени съемки с пленки изопанхром тип-17 в пяти зонах спектра с эффективной длины волны 0,499, 0,519, 0,587, 0,637, 0,671 мк. Аэроснимки, полученные в зоне 0,499 мк, были плохого качества и не анализировались.

Оценка дешифрируемости почвенного покрова и сельскохозяйственных посевов показала, что наиболее эффективно работать по аэроснимкам, полученным в зоне с длиной волны 0,637 мк. По этим снимкам уверенно дешифрировались типичные черноземы, отличные от черноземов, слабо и средне эродированных, аллювиальных луговые от аллювиально лугово-болотных и болотных почв. Из сельскохозяйственных угодий резко выделялись из-за разной почвенной поверхностной влажности свежеборонованные участки полей; четко разделились разным тоном поле с посевом овса и озимой ржи, стравленной скоту; хорошо определялись участки выгонов, приуроченные к балкам. Не дешифрировались поля с всходами ячменя и вико-овса. По тону они сливались с общим фоном полей, не засеянных сельскохозяйственными культурами, и изображались темно-серым тоном, характерным для черноземов типичных. Аэроснимки, полученные в зоне с длиной волны 0,671 мк, имели фотоизображение почвенного покрова, в целом сходное с только что рассмотренным. Из дополнительных сведений отметим следующие. На аэроснимках зоны 0,587 мк на сером фоне изображения аллювиальных луговых почв отчетливо видно русло небольшой степной реки. По светло-серому и темно-серому тону резко видна граница между участком выгона и свежеборонованным полем. В один контур по тону слились поле с озимой рожью, стравленной скоту, с полем овса и участком выгона. Однако граница между полем овса и поверхностью почвы, не покрытой посевами, видна на этом снимке резче, чем на аэроснимке зоны 0,637 мк. Следовательно, для повышения информативности о почвенном покрове и сельскохозяйственных культурах целесообразно совместно использовать аэроснимки, полученные в зонах спектра 0,637 мк (основной) и 0,587 мк (дополнительный). Очевидно, что кроме этих двух перспективных зон могут быть в дальнейшем использованы аэроснимки и в других спектральных зонах электромагнитного спектра.

#### ФОТОЭЛЕКТРОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ И ПОСЕВОВ

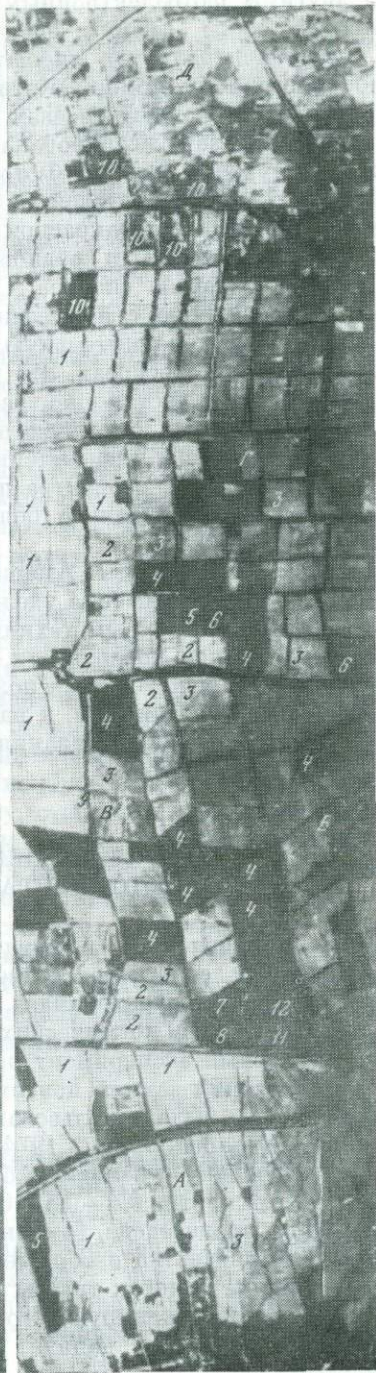
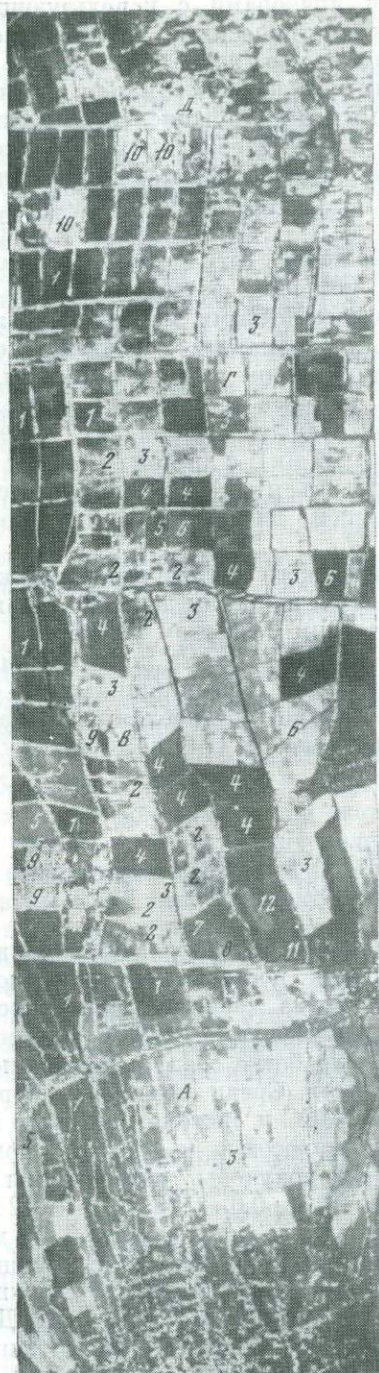
Фотоэлектронные методы начали применяться для изучения природных ресурсов Земли в 60-х годах нашего века. В настоящее время они находятся в стадии становления и разработки. Регистрация почвенно-растительного покрова осуществляется многоспектральными сканирующими системами (МСС), радиометра-

ми и другими фотоэлектронными приборами, с использующими различные виды съемки: спектрометрическую, ультрафиолетовую, многоспектральную, инфракрасную, радиотепловую и радиолокационную. С помощью этих методов информация о почвах и сельскохозяйственных посевах может быть записана на магнитную ленту или зарегистрирована в виде изображения на экране электроннолучевой трубки. Фотоэлектронные методы могут применяться в ультрафиолетовой (0,01—0,4 мк), всей видимой (0,4—0,8 мк), ближней инфракрасной (0,8—1,1 мк), дальней инфракрасной (1,2—2,5 мк) и радиоволновой (от 1 мм до нескольких метров) областях спектра. С помощью фотоэлектронных методов, по сравнению с аэрофотографическими методами, можно получить новую дополнительную информацию о почвенно-сельскохозяйственных ресурсах. Это происходит, с одной стороны, за счет съемки в тех частях спектра, которые не применимы для фотографирования на светочувствительных материалах (предел чувствительности для инфракраски 1,1 мк); с другой — за счет использования узких зон спектра для съемки почвенно-растительного покрова со значительно большей дифференциацией по их спектральной яркости.

На последних съездах Американского фотограмметрического общества большое внимание уделяется вопросам дешифрирования и новым фотоэлектронным техническим средствам получения информации о земной поверхности. При этом центр исследований в этой области переносится на получение информации, минуя фотографическое изображение, к рассмотрению проблемы автоматизации процесса дешифрирования снимков (Blythe, 1967; Bylinsky, 1968; Colwell, 1960).

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ МНОГОСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ

Новым направлением в изучении и дешифрировании почвенного покрова и сельскохозяйственных посевов является многоспектральная фотоэлектронная съемка земной поверхности. В 1973 г. Институтом космических исследований АН СССР был проведен самолетный эксперимент по отработке средств дистанционного зондирования земной поверхности. Среди комплекса бортовой аппаратуры была использована МСС и система цифровой видеозаписи (Ходарев и др., 1974; Аванесов и др., 1974). С помощью сканирующей аппаратуры были получены изображения в четырех зонах спектра 0,4—0,45; 0,5—0,55; 0,6—0,68; 0,72—0,82 мк. Съемка была произведена 14 июня в 12 ч дня с высоты 5200 м в М 1:100 000. Развертка изображения была выполнена с помощью качания зеркала поперек трассы полета со скоростью 4 строки/с. Угол поля зрения сканирующего устройства был равен 51°. Для каждого спектрального канала информативность сканирующей



системы была ограничена 512 элементами в строке с целью удобства обработки полученной информации на ЭВМ.

В почвенно-географическом отношении район исследований охватил часть Ферганской долины — Алтыарыкский конус выноса и террасу Сырдарьи. По строению поверхности — это полого волнистая равнина с уклоном на север и северо-восток. В этом направлении от верхней части конуса выноса увеличивается степень минерализации грунтовых вод, которые расположены здесь на глубине 1,5—2 м, а в мезопонижениях они выклиниваются с 0,5—1 м. В той же закономерности нарастает степень засоления почв и наблюдается смена механического состава почв от суглинков к легким опесчаненным суглинкам и пескам.

По климатическим условиям территория исследований относится к зоне полупустынь и пустынь. Осадков выпадает мало 98—174 мм/год, причем 70—80% приходится на зимне-весенний период. Средняя годовая температура воздуха 12,8—13,4° С. Продолжительность безморозного периода составляет 209—213 дней, сумма эффективных температур +10° С составляет 2235—2353° С. Эти термические условия благоприятны для возделывания скороспелых сортов хлопчатника. В сельскохозяйственном производстве преобладает хлопково-люцерновый севооборот.

Почвенный покров относится к сероземной зоне и представлен луговыми сазовыми светлыми почвами на аллювиально-пролювиальных отложениях с участием солончков и сероземных песков.

Анализ изображения почвенного покрова и сельскохозяйственных культур по многозональным материалам показал следующее. Из четырех зон спектра, использованных при работе МСС, в двух 0,5—0,55 и 0,6—0,68 мк отмечается сходное фотоизображение земной поверхности и в том числе почвенного покрова. Из остальных зон наибольшей информативностью в отношении дешифрирования сельскохозяйственных культур и почв обладают снимки, полученные в зоне 0,4—0,45 мк. По характеру фотоизображения удалось выделить луговые сазовые староорошаемые слабозасоленные почвы тяжело- и среднесуглинистого механического со-

---

*Рис. 1.* Многоспектральная съемка почвенного покрова орошаемой зоны Ферганской долины (летний сезон 1973 г.) в зонах спектра 0,4—0,45 мк (а) и 0,5—0,55 мк (б)

Луговые сазовые светлые почвы на аллювиально-пролювиальных отложениях: А — староорошаемые среднекультуренные слабозасоленные тяжело- и среднесуглинистые, Б — новоорошаемые слабокультуренные слабозасоленные тяжело- и среднесуглинистые, В — новоорошаемые слабокультуренные слабозасоленные средние и легкосуглинистые местами песчаные, Г — новоорошаемые слабокультуренные среднезасоленные с пятнами слабого и сильного засоления средние и легкосуглинистые, Д — новоосвоенные сильно засоленные легкосуглинистые опесчаненные с участием солончков и сероземных песков; 1 — орошаемый хлопчатник; 2 — хлопчатник в начальный период орошения; 3 — хлопчатник, требующий орошения; 4 — люцерна; 5 — люцерна после укоса; 6 — орошаемая люцерна; 7 — суданка; 8 — суданка после укоса; 9 — кукуруза; 10 — пар; 11 — сад; 12 — виноградник

става от новоорошаемых слабоокультуренных, слабозасоленных суглинистого и легкосуглинистого механического состава с участием песчаных почв. Однако они дешифрируются трудно (рис. 1). Значительно увереннее были выделены новоорошаемые луговые сазовые средnezасоленные почвы с пятнами слабого и сильного засоления и особенно новоосвоенные сильно засоленные с участием солончаков и сероземных песков. Последние (рис. 1а) имеют ярко выраженный пестрый беспорядочный рисунок фотоизображения светло-серого и темно-серого тона. Появление этого рисунка (но в меньшей степени) можно было наблюдать в контурах новоорошаемых средnezасоленных почв (рис. 1б). Изображение почвенного покрова на этих снимках характеризуется большей однородностью, за исключением новоосвоенных сильно засоленных почв.

— Особенности почвенного покрова орошаемой зоны (рис. 1а) были карбонатность и различия в поверхностной влажности почв. Почвы анализируемого участка содержат в верхнем горизонте небольшое количество гумуса 0,93—1,37% и высокий процент карбонатов 5—11%  $\text{CO}_2$  и выше. Они обладают высокой отражательной способностью в сухом и даже во влажном состоянии и изображаются на снимках светлым тоном. Увлажнение проявляется в посередине тона. В зоне 0,5—0,55 мк влажная поверхность почвы изображается темно-серым тоном, сухая — ярко-светлым. Значительно подробнее на снимках, полученных в зоне 0,4—0,45 мк, изображаются различия в поверхностном увлажнении. Визуально можно уверенно выделить 5—6 градаций по влажности почв в изменении серого тона.

Совместное использование фотоснимков, полученных в разных зонах спектра, дало возможность правильно дешифровать по изменению тона сельскохозяйственные культуры и их состояние. Данные приведены в таблице.

Рассмотрение таблицы показывает, что сельскохозяйственные посевы в зоне 0,5—0,55 и 0,6—0,68 мк имели однородные дешифровочные признаки. Поэтому в дальнейшем нами были использованы в работе только три взаимно дополняющие спектральные зоны. Во-вторых, отдельные сельскохозяйственные культуры и угодья имели между собой сходный тон изображения, что затрудняло их дешифрирование. Так, однородный тон имели люцерна и суданка, хлопчатник и кукуруза.

Таким образом, использование данных МСС позволило с большей степенью детализации изучить почвенный покров орошаемой зоны сероземов и состояние сельскохозяйственных культур в хлопково-люцерновом севообороте.

Рассмотрим космический снимок Ферганской долины, полученный с помощью МСС со спутника ЕРТС-1 (США). МСС работало одновременно в четырех зонах спектра: 0,5—0,6 0,6—0,7 0,7—0,8 0,8—1,1 мк. Ширина полосы сканирования 185 км с разрешением на местности 80 м. Съемка была выполнена 24 июня 1973 г. с высоты около 900 км.

Дешифрирование сельскохозяйственных культур по многоспектральным аэроснимкам по изменению тона  
(данные, полученные с МСС)

Сельскохозяйственные культуры, их состояние, угодье	Спектральный диапазон, мк			
	0,4—0,45	0,5—0,55	0,6—0,68	0,72—0,82
1. Хлопчатник в начальный период орошения	от темно-серого к светло-серому	светло-серый серый	светло-серый серый	серый
2. » после орошения	темно-серый	светло-серый	светло-серый	»
3. Хлопчатник	светло-серый	серый	серый	»
4. Люцерна	темно-серый	темно-серый	темно-серый	светло-серый
5. » после уборки	серый	серый	серый	»
6. » орошаемая	темно-серый темный	темно-серый темный	темно-серый темный	темно-серый темный
7. Суданка	темно-серый	темно-серый	темно-серый	светло-серый
8. » после уборки	серый	серый	серый	»
9. Кукуруза	светло-серый	»	»	серый
10. Пар	светло-серый	темно-серый	темно-серый	темно-серый
11. Сад	темно-серый	»	»	»
12. Виноградник	серый	серый	серый	серый

Анализ фотоизображения почвенного покрова на космических снимках, полученных в разных зонах спектра, показал, что лучшие взаимно дополняющие по содержанию результаты были получены при использовании трех зон спектра 0,5—0,6, 0,6—0,7 и 0,8—1,1 мк. Среди этих зон наиболее информативной была зона 0,6—0,7 мк. По космическому снимку, полученному в этой зоне, была надежно отдешифрирована Ферганская долина, окруженная горными хребтами. В горах хорошо видна эрозионная расчлененность отдельных склонов, долины горных рек. Здесь сформированы горные сероземы, горные коричневые и горные лугово-степные почвы, постепенная смена которых с высотой составляет вертикальную зональность почвенного покрова анализируемой территории. К югу от Ферганской долины высокогорная часть Алайского хребта с горными лугово-степными почвами закрыта облачностью и не дешифрируется по снимку. Темно-серым тоном с массой коротких расчлененных эрозией хребтов изображаются горные коричневые почвы. Нижний пояс образуют горные сероземы, имеющие на космическом снимке неоднородный тон светло-серого, серого и темно-серого тонов. Это наиболее сильно расчлененная эрозией территория, отчетливо изобразившаяся на снимке.

Следующий пояс холмисто-волнистых предгорий — адыров, предгорных равнин и межувалистых понижений сложен сероземами типичными, светлыми сероземами и серо-бурыми почвами. Поверхность их пересечена сухими саями логами и большим количеством речек, образующих при выходе в долину конусы выноса. На космическом снимке эти почвы изображаются светло-серым тоном однородного рисунка. Несколько большая подробность фотоизображения этих почв в отношении различий по увлажнению поверхности и ее расчлененности видна на космических снимках, полученных в зонах 0,5—0,6 и 0,8—1,1 мк.

Орошаемая зона Ферганской долины очень резко выделяется от остальной горной и предгорной части по пестрому мелкоколоскучному рисунку фотоизображения серого тона с темными мелкими прямоугольниками неправильной формы. Это типичное отражение сельскохозяйственного использования земель данной территории, находящейся под хлопко-люцерновым севооборотом. Преобладающий серый и светло-серый тон характерен для изображения хлопчатника на орошаемых сероземах, лугово-сероземных и лугово-сазовых почвах. Мелкие прямоугольники неправильной формы темного тона соответствуют в основном изображению полей, занятых люцерной и садами. По рисунку фотоизображения хорошо дешифрируются конусы выноса рек с формирующимися на них орошаемыми сероземами и лугово-сероземными почвами. Орошаемые лугово-сероземные и луговые сазовые почвы дешифрируются по более темному общему фону изображения орошаемой зоны Ферганской долины. В центральной части долины, примыкающей к западной рамке космического снимка, отчетливо виден контур светло-серого тона однородного рисунка, соответствующий изоб-

ражению сероземных песков, луговых солончаков и луговых почв.

По общему характеру фотоизображения и степени дешифрируемости почвенного покрова к рассмотренному космическому снимку близок снимок, полученный в диапазоне 0,5—0,6 мк. Из особенностей этого снимка отметим более лучший контраст в изображении орошаемых лугово-сероземных и луговых сазовых почв.

Космический снимок зоны 0,8—1,1 мк отличается слабой детализацией горных районов и более слабым контрастом между орошаемой частью Ферганской долины и предгорьями. Поля, занятые люцерной и садами, изображаются на этом снимке светлым тоном, менее ярко заметным на общем сером фоне изображения полей, занятых хлопчатником. Вместе с тем, только на этом снимке очень резко видна гидрографическая сеть: реки и водохранилища. Современное использование трех космических снимков, снятых в разных спектральных зонах, позволило получить наиболее полную и объективную информацию о почвенном покрове Ферганской долины.

### ИНФРАКРАСНАЯ ТЕПЛОВАЯ СЪЕМКА

Фотоэлектронная съемка Земли улавливает тепловое излучение поверхности различных почв и сельскохозяйственных посевов. Исследование инфратепловой зоны спектра (1,2—20,0 мк) показало, что имеется два четко выраженных «окна пропускания» ИК-излучения атмосферой. Первое охватывает интервал 1,8—5,3 мк, второе, к которому приурочен максимум спектрального излучения объектов земной поверхности, включает зону 7—14 мк. В остальной части ИК-диапазона, кроме «окон пропускания», ИК-излучение довольно сильно поглощается парами воды, углекислым газом, озоном и другими примесями, содержащимися в атмосфере.

Инфратепловая съемка производится с помощью специальных высокочувствительных фотоэлектронных приемников, имеющих оптико-механическое сканирующее устройство. В приемнике — детекторе — тепловое излучение преобразуется в световые сигналы. Эти сигналы с экрана электроннолучевой трубки (ЭЛТ) регистрируются на светочувствительные материалы в виде графиков или фотоснимков.

На фотоснимке гамма серых тонов отражает относительную температуру отдельных участков поверхности почвенного покрова. При высокой чувствительности детекторов радиометры способны фиксировать незначительные температурные различия. Так, радиационный термометр обеспечивает в лабораторных условиях измерение температуры объектов с точностью до  $0,1^\circ$ , в полевых условиях  $\pm 0,2 \div \pm 0,4^\circ$ . Точность измерения температуры с самолета зависит также от скорости полета и инерционности показаний прибора (около 1 с). За это время самолет типа Ил-14 проходит расстояние около 80 м, самолет Ли-2 около 50 м. При высоте полета около

200 м и угле зрения прибора  $3^\circ$  ширина охвата земной поверхности составит  $10 \times 50$  м или  $10 \times 80$  м при полете самолета Ил-14. Таким образом, в данном случае с помощью радиационного термометра можно определить среднюю температуру площадки размером  $500-800 \text{ м}^2$ .

В 1973 г. в исследованиях ИКИ АН СССР для изучения инфракрасного излучения земной поверхности был использован ИК-радиометр и получены спектрограммы в 4-х зонах спектра в диапазоне от 1,35 до 2,70 мк.

В США выпускается несколько типов одноканальных радиометров, имеющих сменные блоки детекторов. Созданы многоканальные радиометры, которые регистрируют как излучаемую, так и отраженную энергию в диапазоне  $0,36-2,0$  мк. Имеются радиометры с 24 каналами. Луч отраженной энергии в процессе оптико-механического сканирования попадает на оптическую призму, с помощью которой разбивается на отдельные диапазоны, каждый из которых имеет свой детектор. При наличии на Земле соответствующих датчиков, передающих температуру с контрольных участков земной поверхности на специальный радиометр, установленный на самолете, возможно вычислить нулевую линию отсчета, провести калибровку термограмм и камерально определить до 25 послонных изображений, отражающих температуру, и составить тепловые карты местности.

Были проведены исследования в инфракрасной зоне в диапазоне волн  $3,69-5,5$  мк в штате Мичиган, США (в ночное и дневное время) и штате Калифорния (в дневное время) в орошаемом районе. Полученные материалы дали возможность определить водные запасы и степень орошения почв (McDonald, Kristof, 1970). По инфракрасным изображениям можно получить ценную информацию о дренированности территории, наличии участков с избыточным увлажнением (Edson, 1973). ИК-изображения, полученные из космоса с помощью спутника «Тирос» в длинах волн  $8-13$  мк, позволили различать поверхности с разной температурой. По инфракрасным материалам с метеорологических спутников США «Нимбус-1 и 2» в диапазоне  $3,4-4,2$  мк хорошо дешифрировались вулканические районы, горячие источники и другие объекты (Estes, 1966). Для целей инфракрасной съемки земной поверхности перспективны диапазоны  $3-5,5$  и  $8-14$  мк. Однако наиболее контрастное изображение наземных объектов получается при использовании инфракрасного диапазона  $8-14$  мк (Feder, 1968).

Общее инфракрасное излучение определяется по формуле  $E \approx \varepsilon T^4$ , где  $T$  — температура,  $\varepsilon$  — коэффициент излучательной способности, который для большинства объектов земной поверхности близок к 1. Поэтому характер излучения в этой части спектра в основном зависит от температуры земной поверхности. Температура поверхности почвы зависит от внутреннего тепла Земли (в районах вулканической деятельности), но главным образом от лучевой энергии Солнца. В среднем, почва отражает

от  $1/3$  до  $1/12$  части лучистой энергии, поглощая все остальное. О теплопоглощительной способности почв можно судить по величине альбедо, представляющей отношение количества отраженной поверхностью лучистой энергии к общему количеству энергии, постушившей на поверхность почвы. Наибольшая величина альбедо отмечается у свежеснежного снега 0,81, для травянистой растительности она колеблется около 0,22—0,32, для сухого чернозема 0,14, для влажного 0,08—0,09. Величина альбедо меняется в зависимости от состояния поверхности. Так, у серозема она равняется для выровненной поверхности 0,30—0,31, для свежеспаханного поля 0,17. Теплоемкость почв — величина переменная, которая повышается с увеличением влажности. Тепловые контрасты поверхности почвенного покрова зависят от сезона, характера освещенности (освещенные и теневые склоны), влажности почв, наличия растительного покрова, содержания гумуса, механического состава и др. факторов. В течение суток наблюдаются значительные колебания температуры поверхности. В послеполуденное время отмечаются максимальные температурные контрасты, которые в ночное время значительно нивелируются. В связи с этим важное значение имеет выбор времени суток и сезона для проведения инфракрасной съемки почвенного покрова. Первые опыты показали, что наилучшие результаты в области инфракрасной съемки почвенного покрова были получены вскоре после захода солнца. В зоне вулканической деятельности целесообразно проводить съемки в ночное время, когда влияние температурных контрастов за счет солнечной энергии является минимальным.

### ИНФРАКРАСНАЯ РАДИОТЕПЛОВАЯ СЪЕМКА

Радиотепловая съемка или пассивная радиолокация регистрирует естественное радиотепловое излучение почвенного покрова в длинноволновых тепловых лучах 0,3—30 см. Фотоэлектронная аппаратура для приема этих лучей снабжена специальной антенной. Общее радиотепловое излучение определяется по формуле  $E \approx \epsilon T$ . Если в случае инфракрасной съемки коэффициент  $\epsilon$  мало изменяется с изменением длины волны, то в радиотепловом диапазоне он подвержен значительным колебаниям. При этом с увеличением длины волны  $\lambda$  уменьшается значение  $\epsilon$ . Так, для воды при  $\lambda = 1$  мм  $\epsilon = 0,3$ , при  $\lambda = 100$  см  $\epsilon = 0,05$ . Для миллиметрового и особенно сантиметрового диапазонов отмечается практически полная прозрачность атмосферы и облачности, что делает этот метод перспективным для радиотепловой съемки из космоса.

В отличие от инфракрасного диапазона в радиотепловой зоне спектра наблюдаются небольшие суточные колебания радиотепловых контрастов. Наоборот, очень существенно изменяются радиотепловые контрасты в зависимости от влажности, засоленности, структуры и состава почв (Шилин, 1971). Применение пассивной микроволновой техники позволило определить состав почв и грун-

тов, а также выявить наличие пустот в непосредственной близости от поверхности (Bylinsky, 1968).

Осенью 1975 г. были проведены исследования по определению влажности почв на территории Курского полигона. В самолетном эксперименте был использован 2-канальный радиометр, работающий в диапазонах 0,8 и 3 см. В полевой период вдоль трассы полета самолета на полях с разной влажностью проводились подсамолетные определения влажности почв термовесовым методом. Различия в поверхностной влажности полей в слое 0—5 и 0—10 см. были следующие: под сахарной свеклой 23,2 и 23,8%, на пару 15,2 и 19,0%, на пару после прохода сеялки 19,3 и 21,5%. Сопоставление с регистрограммами, полученными в результате пяти полетов самолета над указанными полями, показало, что все эти результаты полевой влажности почв были зарегистрированы в изменениях кривой прибора.

Все вышесказанное позволяет считать этот метод весьма перспективным для изучения почвенного покрова и в первую очередь для определения поверхностной влажности почв.

#### РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СЪЕМКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

К новым фотоэлектронным способам получения информации о почвах и сельскохозяйственных посевах относится применение радарных установок — радиолокаторов (бокового обзора). Наиболее ценное свойство этого нового вида съемки почвенного покрова состоит в том, что радарная установка может работать при отсутствии видимости: сквозь туман и облака, а также ночью. Это особенно важно при изучении почвенного покрова северных труднодоступных районов нашей страны. Масштаб радиолокационных изображений, по сравнению с материалами аэрофотосъемки, является мелким от 1:60 000 до 1:400 000. Он определяется не высотой полета самолета, а параметрами используемой аппаратуры. При радиолокации почвенного покрова источник излучения волн сантиметрового диапазона и приемник находятся на самолете. Сигнал, отраженный от земной поверхности, в пределах азимутального угла, внутри которого идет облучение, улавливается антенной и после преобразования в передатчике-приемнике радиолокационных сигналов фиксируется на ЭЛТ в виде одной строки развертки. Интенсивность отраженного сигнала, определяющая яркость светового пятна, зависит от шероховатости поверхности, характера рельефа анализируемой территории, физических свойств почвенного покрова, влажности почв и применяемой длины волны. С помощью фоторегистрирующего устройства изображение строки ЭЛТ и интенсивности отраженного сигнала фотографируется на пленку, скорость движения которой пропорциональна скорости движения самолета.

В результате на фотографической пленке разной плотностью изображаются различной интенсивности сигналы, отраженные от

земной поверхности. Радиолокационное фотоизображение поверхности Земли сходно с аэрофотографическим и при его дешифрировании возможно использовать опыт дешифрирования аэроснимков. Радиолокационные изображения детально передают строение рельефа местности, с изменением которого тесно связано формирование почвенного покрова, его структура и комплексность. По радиолокационным изображениям хорошо дешифрируются в разной степени увлажненные почвы. Данные радиолокационной съемки можно использовать для распознавания сельскохозяйственных культур. Исследования в Ростовской области показали возможность различать по радиолокационным материалам поля с подсолнечником, пшеницей и капустой и т. д. Поля со свежеспаханными черноземами выглядят темными, независимо от времени и направления облучения (Стрельников и др., 1971).

По радиолокационным снимкам территории полупустынь Северного Прибалхашья можно уверенно дешифрировать различные типы четвертичных отложений, разделить почвы по режиму увлажнения на автоморфные полугидроморфные и гидроморфные, использовать эти материалы для почвенного районирования (Семенова, Можаяева, 1974).

Проведен опыт по применению радарных изображений для анализа увлажненных почв и разных условий дренированности территории на участках, покрытых древесно-кустарниковой растительностью. Отмечается, что выполнение полетов в период, когда растительность лишена листвы, резко повышает эффективность радиолокационной съемки почвенного покрова. Кроме выполнения съемки в оптимальный сезон важное значение имеет правильный выбор угла наклона радара и его частоты (Girard, 1972).

Для изучения состава почв с помощью радиолокаторов бокового обзора поверхность облучается радиоволнами определенной длины. Увеличивая длину волны или мощность излучения, возможно определить характер верхних горизонтов почвы. Отметим, что к основным преимуществам такого вида съемки, кроме независимости от погодных условий и времени суток, возможность определения свойств поверхностных и подповерхностных горизонтов почв, независимости масштаба съемки от высоты, относится также возможность получения контрастных изображений оптически не контрастных объектов (какими являются почвы) и обеспечения значительно лучшего разрешения, чем дают СВЧ-радиометры.

В заключение укажем, что эффективное изучение почвенных и сельскохозяйственных ресурсов Земли возможно при комплексном проведении полевых работ совместно с аэрокосмическими средствами, включая аэрофотографические и фотоэлектронные методы. Разработка этих новых методов позволит подойти к более рациональному учету и использованию земельных ресурсов, к оценке плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Эти исследования дадут возможность более эффективно

вести работы в области мелиорации почв, защиты почв от эрозии, по выявлению ранних стадий заболевания сельскохозяйственных культур, использовать аэрокосмические материалы для почвенно-сельскохозяйственного картографирования и районирования территории.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Аванесов Г. А., Баринев И. В., Глазков В. Д. Многоспектральная сканирующая система в самолетном эксперименте по исследованию земных ресурсов.— Метеорология и гидрология, 1974, № 4.
- Андроников В. Л. О методике дешифрирования почвенного покрова лесостепи по аэрофотоматериалам.— Почвоведение, 1957, № 5.
- Андроников В. Л. Использование цветных аэроснимков при исследовании почв.— В кн.: Аэрометоды изучения природных ресурсов. Л., Географгиз, 1962.
- Андроников В. Л. Об эталонизации аэроснимков в почвоведении.— В кн.: Материалы III Всесоюз. съезда почвоведов. М., «Наука», 1968.
- Андроников В. Л. Некоторые принципы дешифрирования эродированных почв лесостепи по аэрофотоматериалам.— Почвоведение, 1969, № 10.
- Андроников В. Л. Опыт дешифрирования почвенного покрова сухостепного Заволжья по аэроснимкам.— В кн.: Вопросы изучения почв, повышения их плодородия и эффективного применения удобрений. Куйбышев, 1972.
- Афанасьева Т. В. Использование аэрометодов при почвенном районировании.— В кн.: Применение аэрометодов в ландшафтных исследованиях. Л., Географгиз, 1961.
- Афанасьева Т. В. Изучение почв Мещерской низменности.— В кн.: Аэрометоды изучения природных ресурсов. Л., Географгиз, 1962.
- Афанасьева Т. В. Использование аэрометодов при картировании и исследовании почв. М., Изд-во МГУ, 1965.
- Березин А. М. и др. Дешифрирование лесных почв по аэроснимкам.— Лесное хозяйство, 1965, № 3.
- Вавилов Е. И. Дешифрирование и картирование почвенного покрова лесной зоны на примере Белоруссии.— В кн.: Опыт картирования растительности по аэроснимкам. Л., Изд-во АН СССР, 1964.
- Виноградов Б. В. Аэрометоды изучения растительности природных зон. М.— Л., «Наука», 1966.
- Гавсман А. В., Ливеровский Ю. А. Аэрофотосъемка в почвенном картировании.— Почвоведение, 1953, № 3.
- Калинина В. А. К вопросу о предварительном дешифрировании почв на аэроснимках при составлении крупномасштабных почвенных карт.— Почвоведение, 1965, № 8.
- Калинина В. А. Применение принципов ландшафтного метода дешифрирования для изучения и картографирования почв по материалам аэрофотосъемки.— Почвоведение, 1971, № 2.
- Карманов И. И. Спектральная отражающая способность и цвет почв как показатели их свойств. М., «Колос», 1974.
- Ковда В. А. Проблемы почвоведения и мелиорации почв.— Вестн. АН СССР, 1969, № 1.
- Кузнецов В. В. Изучение почвенного покрова пустынь.— В кн.: Аэрометоды изучения природных ресурсов. Л., Изд-во АН СССР, 1962.
- Кузнецов В. В. Методика почвенно-мелиоративного картирования на основе аэрометода.— Почвоведение, 1965, № 8.
- Ливеровский Ю. А. Использование аэрометодов в почвоведении.— Почвоведение, 1957, № 6.
- Обузов А. И., Орлов Д. С. Спектральная отражательная способность главных типов почв и возможность использования диффузного отражения при почвенных исследованиях.— Почвоведение, 1964, № 2.

- Платоненко М. А.* О точности картирования почв на материалах аэрофотосъемки.— Почвоведение, 1960, № 1.
- Платоненко М. А.* Особенности отражения почвенного покрова на аэроснимках в Западной Сибири.— Почвоведение, 1962, № 2.
- Платоненко М. А.* О количественной характеристике дешифровочных признаков и автоматизации дешифрирования аэроснимков.— Тр. Омского с.-х. ин-та, 1972.
- Поляков В. Г.* Вопросы применения аэрофотосъемки при крупномасштабных почвенных исследованиях в аридных областях.— В кн.: Географические исследования в Казахстане. Алма-Ата, 1962.
- Поляков В. Г.* Применение цветной и спектральной аэрофотосъемки при картировании сельскохозяйственных угодий для целей землеустройства.— Тр. Моск. ин-та инженеров землеустройства, вып. 48, 1969.
- Поляков В. Г.* Внедрение аэрометодов в практику крупномасштабных почвенных исследований.— В кн.: Вопросы географии Казахстана. Алма-Ата, 1970.
- Поляков В. Г.* Цветная и спектральная аэросъемка при изучении почвенного покрова Казахстана.— В кн.: Современное землеустройство, изучение и организация рационального использования земельных ресурсов. М., «Колос», 1972.
- Прасолов Л. И.* О применении аэрофотосъемки для почвенной картографии.— Тр. ЦНИИГАиК, вып. 12. М., 1931.
- Пронин А. К.* Изучение растительности путем аэрофотографирования в разных зонах спектра.— Тр. Лаб. аэрометодов АН СССР, т. I. М., 1949.
- Рубакин В. Ф.* Сельскохозяйственное дешифрирование аэроснимков.— Вестн. с.-х. науки, 1962, № 10.
- Рычков И. Н.* Современное состояние сельскохозяйственного дешифрирования аэрофотоснимков.— В сб. Теория и практика дешифрирования аэрофотоснимков. М.— Л., «Наука», 1966.
- Семенова Н. Н.* Применение материалов аэросъемки при исследовании почвенного покрова степной и сухостепной зон.— В кн.: Использование аэрометодов при исследовании природных ресурсов. Л., Изд-во АН СССР, 1961.
- Семенова Н. Н.* Изучение эрозии почв по аэроснимкам.— Почвоведение, 1969, № 5.
- Семенова Н. Н., Можяева В. Г.* Опыт дешифрирования почв и четвертичных отложений полупустынной зоны центрального Казахстана по материалам радиолокационной аэросъемки.— Почвоведение, 1974, № 11.
- Симакова М. С.* Методика картирования почв Прикаспийской низменности по материалам аэрофотосъемки.— В сб. Почвенно-географические исследования и использование аэрофотосъемки в картировании почв. Л., Изд-во АН СССР, 1959.
- Симакова М. С.* О полевом и камеральном дешифрировании аэроснимков при составлении почвенных карт.— Почвоведение, 1966, № 2.
- Симакова М. С.* Дешифрирование почвенного покрова подзоны дерново-подзолистых почв по аэрофотоснимкам.— Почвоведение, 1967, № 1.
- Симакова М. С., Кальван В. К.* Опыт детальной почвенной съемки в подзоне дерново-подзолистых почв.— Почвоведение, 1972, № 9.
- Стрельников С. И.* и др. Радиолокационная съемка.— В сб. Аэрометоды геологических исследований. Л., «Наука», 1971.
- Толчельников Ю. С.* Об использовании материалов аэрофотосъемки и при почвенных исследованиях.— Вестн. с.-х. науки, 1959, № 10.
- Толчельников Ю. С.* Об отражательной способности основных типов почв.— Тр. Лаб. аэрометодов АН СССР, т. VII. М., 1959.
- Толчельников Ю. С.* Природные факторы, влияющие на тон изображения почв распаханых массивов на аэроснимках.— Тр. Лаб. аэрометодов АН СССР, т. 9. М., 1960.
- Толчельников Ю. С.* Методика дешифрирования почвенного покрова субаридных зон.— В сб. Аэрометоды изучения природных ресурсов. М., Изд-во АН СССР, 1962.

- Толчельников Ю. С.* Дешифрирование по аэроснимкам почв Северного Казахстана (лесостепная, степная и сухостепная зоны). М.—Л., «Наука», 1966.
- Толчельников Ю. С.* Крупномасштабное картирование по аэроснимкам почв районов с моренными и озерно-ледниковыми отложениями таежной зоны.— Почвоведение, 1967, № 1.
- Ферсман А. Е.* Материалы по дешифрированию аэроснимков. Свердловск, Изд-во АН СССР, 1942.
- Ходарев Ю. К., Аванесов Г. А.* и др. Использование космических средств для изучения земных ресурсов и контроля окружающей среды. Самолетный эксперимент.— Метеорология и гидрология, 1974, № 4.
- Шулин Б. В.* Радиотепловая съемка.— В сб. Аэрометоды геологических исследований. Л., «Наука», 1971.
- Aldrich R. C.* Space photos for land use and forestry.— Photogramm. Eng., 1971, No. 4.
- Anson A.* Colar aerial photos in the reconnaissance of soils and rocks.— Photogramm. Eng., 1970, No. 4.
- Blythe R., Kurath E.* Infrared and water vapor.— Photogramm. Eng., 1967, No. 7.
- Bylinsky G.* From a high — flying technology a fresh view of earth.— Fortune, 1968, No. 6.
- Colwell R. N.* Some use of infrared aerial photography in management of wildland areas.— Photogramm. Eng., 1960, v. 26, No. 5.
- Edson D.* Automatic thematic mapping in the EROS program.— Surv. and Mapp., 1973, No. 1.
- Estes J. E.* Some applications of aerial infrared imagery.— Ann. Assoc. Amer. Geogr., 1966, No. 4.
- Feder A. M.* Remote sensing for engineering.— Milit. Eng., 1968, No. 397.
- Girard C. M.* Airphotos and Agricultural Ecology. XII<sup>th</sup> Int. Congress ISP, Ottawa, Canada, 1972.
- McDonald R. B., Kristof S.* Utilization of remote sensing systems for the automatic recognition of soils features. IEEE 2nd. Int. Geosci. Electron. Symp. Wash. D. C.— Dig. techn. pap., 1970, s. 1, s. a. 4/4.
- Merifield P. M., Gronin J., Foshee L. et al.* Satellite imagery of the Earth.— Photogramm. Eng., 1969, No. 7.
- Sellin L., Svensson H.* Airborne thermography.— Geoforum, 1970, No. 2.
- Waite W. R., McDonald H. C.* Vegetation penetration with k-band imaging radars.— IEEE Trans. Geosci. Electron, 1974, No. 3.



*С. Г. Синицын, В. И. Сулик*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ИНТЕРЕСАХ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Лес является важнейшим компонентом биосферы и оказывает постоянное и многостороннее влияние на жизнь и деятельность человека на Земле. С развитием цивилизации, ростом населения, городов и промышленных центров значение лесов неизмеримо возрастает. Особенно велика их роль в жизни нашей страны, где лесной фонд занимает 55% всей ее территории или свыше 1,2 млрд. га.

Советский Союз владеет уникальными лесными богатствами. Запасы древесины в наших лесах используются для строительства, служат сырьем для многих отраслей промышленности. Велико водоохранное, климаторегулирующее, почво-защитное, санитарно-гигиеническое и рекреационное значение наших лесов. В них произрастают многочисленные виды полезных растений, обитает большое количество ценных зверей и птиц.

Целевой функцией современного лесного хозяйства является сохранение и приумножение лесных ресурсов при условии максимального использования всех полезных свойств леса. Обеспечение этой очень сложной задачи возложено на органы лесного хозяйства.

Для правильной организации и ведения лесного хозяйства, планирования расходования леса, прогнозирования будущих лесов прежде всего необходимо иметь данные о лесных ресурсах, их динамике и состоянии, которые периодически, не более чем через 10—15 лет, должны обновляться, так как лес является живым организмом и его характеристики не остаются постоянными. Работами по определению лесных ресурсов и их состояния у нас в стране занимаются лесоустроители. За годы Советской власти лесоустроители провели оценку лесного фонда на всей площади страны. Однако детальная инвентаризация лесов, материалы которой обеспечивают необходимый уровень ведения лесного хозяйства, проведены лишь на площади не многим более 500 млн. га. На остальной части лесной фонд обследован приближенными аэровизуальными или аэротаксационными методами 20—25 лет назад.

В настоящее время объем ежегодной детальной инвентаризации лесов составляет 45 млн га., а в ближайшем будущем должен возрасти до 50 млн. га. и более. Выполнение таких больших объемов лесоустроительных работ стало возможным благодаря широкому применению в практике аэрометодов и, в первую очередь, материалов аэрофотосъемки, которая является технической основой современного лесоустройства.

За период с 1922 г., когда у нас в стране были выполнены первые опытные работы по таксации леса с аэрофотоснимками, до наших дней существенно изменились как применяемые материалы аэрофотосъемки, так и техника и содержание работ. Но на протяжении всей истории применения материалов аэрофотосъемки отчетливо прослеживается их постоянное влияние на совершенствование методов лесоустройства, сокращение трудоемкости работ, перенесение все большей части их из леса в лабораторию, повышение точности лесоинвентаризации.

Начиная с первых опытов, в лесоустройстве определились два направления по применению материалов аэрофотосъемки. Во-первых, аэрофотоснимки используются как основа для составления планово-картографических материалов и, во-вторых, для лесотаксационного дешифрирования, которое включает в себя разделение лесных массивов в пределах кварталов на однородные таксацион-

ные участки — выделы и определение (полностью по аэрофотоснимкам или частично в сочетании с последующим полевым дешифрированием) многочисленных характеристик леса в пределах каждого конкретного выдела.

Развитие первого направления совпадает с развитием отечественной фотограмметрии, необходимой для общегосударственного картографирования. Оно базировалось на научных и конструкторских разработках, выполнявшихся научно-исследовательскими и производственными геодезическими и картографическими организациями. Необходимость развития картосоставительского производства в системе лесоустройства вызывалась недостаточной картографической изученностью территории страны, отсутствием карт требуемых масштабов. Использовавшиеся при этом методы позволяли создавать плано-картографические материалы на лесные территории только в рамках специфических лесоустроительных требований.

В настоящее время использование материалов аэрофотосъемки для картографических целей в системе лесоустройства в значительной мере сократилось за счет использования общетопографических карт. И только на 10—15% устраиваемой площади создаются уточненные фотосхемы М 1:10 000—1:25 000 на территории, где отсутствуют топографические карты этих масштабов.

В последующем предполагается полностью перейти на использование в качестве топографической основы материалов ГУТК, оставив лишь за лесоустройством тематическое лесохозяйственное картографирование и специальное, в первую очередь, лесотаксационное дешифрирование. В основу современного лесотаксационного дешифрирования положен аналитический метод, основанный на всестороннем анализе всех факторов, влияющих на характер фотографического изображения насаждений, знании и учете природы объектов, лесоводственно-биологических свойств насаждений, закономерностей строения и роста.

На характер изображения насаждений и их полога на аэрофотоснимках существенное влияние оказывают геометрические и оптические свойства крон деревьев, степень сомкнутости полога, просматриваемость полога в глубину, состояние насаждений в момент аэрофотосъемки и ряд других факторов.

Исследования основных показателей форм и размеров крон (диаметра, длины, высоты до наибольшей ширины крон), а также показателей, характеризующих насаждение и его полог, в целом показали, что они играют основополагающую роль при дешифрировании аэроснимков. Они подчиняются тем же закономерностям, что и обычные таксационные показатели насаждений. Между показателями, характеризующими полог и насаждение, существуют тесные закономерные связи, которые в настоящее время изучены для значительных территорий (Самойлович, 1956, 1964, 1967; Бочаров, Самойлович, 1964; Белов, 1959).

Одной из первых и очень важных задач, которые стоят перед лесоустройством, является разделение лесного фонда на однородные в таксационном отношении (по составу древесных пород, высоте, толщине деревьев, густоте, возрасту, запасу, качеству древесины и т. п.) участки, площадь которых может колебаться от 1 га до нескольких десятков гектаров. При работах без аэрофотоснимков для этой цели необходима прорубка взаимно параллельных линий (визиров) через 125—500 м в зависимости от разряда лесоустройства. Применение материалов аэрофотосъемки позволяет отказаться от прорубки визиров или сократить их протяженность, не менее чем в три раза, за счет того, что контуры большинства таксационных выделов могут быть установлены по аэрофотоснимкам методом камерального дешифрирования лишь с частичным уточнением их в натуре.

Внедрение в конце 50-х годов в практику лесоустройства цветных спектральных аэрофотоснимков позволило в значительной степени решить вопрос повышения точности установления контуров выделов и в интенсивной зоне полностью отказаться от прорубки визиров. Благодаря различию в цветовой окраске изображения отдельных видов растительности и других природных объектов, на спектральных аэрофотоснимках количество отображенных на них ориентиров возрастает по сравнению с панхроматическими аэрофотоснимками в освоенных лесах примерно вдвое, а в нетронутых эксплуатацией лесах — в 3—4 раза. Так, если из общего количества опознаваемых по панхроматическим аэрофотоснимкам участков леса от 50 до 75% требуют уточнения местоположения границ путем натурального осмотра, то по цветным спектральным аэрофотоснимкам уточнение границ в натуре требуется только в 10—20% случаев. Степень четкости опознавания границ выделов по цветным спектральным аэрофотоснимкам в значительно меньшей степени зависит от масштаба в сравнении с панхроматическими, что позволяет использовать в работе без ущерба для точности аэрофотоснимки более мелких масштабов (Синицын, Сухих, 1968).

Кроме разделения лесного фонда на выделы, аэрофотоснимки при лесоустройстве используются для непосредственной таксационной характеристики лесонасаждений.

Для организации и ведения лесохозяйственного и лесопромышленного производства необходимо определить с точностью  $\pm 8-15\%$  целый ряд характеристик леса применительно к каждому отдельному выделу: состав древесных пород, средние диаметры и средние высоты их, средний возраст, полноту, запас древесины, качество древесины, тип леса или тип условий местопроизрастания; охарактеризовать подрост, подлесок, почвенный покров; отметить наличие особенностей роста и развития древостоев, состояние леса; наметить конкретные мероприятия по уходу за лесом и рубке леса, лесовосстановлению, охране леса от пожаров и вредителей и др.

При работе без аэрофотоснимков все таксационные характеристики определялись таксатором непосредственно в лесу путем осмотра насаждения выдела и выполнения ряда замеров в различных его частях. Для этой цели, в частности, и служит визирная сеть. Применение черно-белых аэрофотоснимков уже на первом этапе позволило значительно сократить количество таксационных ходов таксатора и корректировать данные наземного определения характеристик леса (состава, высоты, полноты) по аэрофотоснимкам, что позволило снизить затраты труда таксатора в среднем в 2 раза и повысить точность.

За 50-летний период применение аэрофотоснимков для целей таксации леса в СССР было выполнено большое количество исследований, опытных и опытно-производственных работ, направленных на разработку методов лесотаксационного дешифрирования аэрофотоснимков, которые позволили постоянно совершенствовать технологию работ, извлекать из аэрофотоснимков все большее количество информации. Благодаря этим работам была создана теоретическая база лесотаксационного измерительного дешифрирования. В середине 60-х годов разработана новая технология лесоинвентаризации, основанная на рациональном сочетании камерального дешифрирования цветных спектрально-анализируемых аэрофотоснимков М 1 : 15 000 с наземными таксационными работами (Самойлович, Данюлис, 1970; Сухих, 1966; Демидов, Сухих, 1974).

Лесотаксационное дешифрирование по новой технологии выполняется аналитико-измерительным методом, который предусматривает всестороннее изучение объекта, владение измерительными методами дешифрирования, установление корреляционных зависимостей между дешифрировочными и таксационными показателями. Изучение и установление взаимосвязей между дешифрировочными показателями, получившими изображение на аэрофотоснимках, и таксационными показателями, которые характеризуют насаждения, производится применительно к однородному лесорастительному району. Для этого используются специальные таксационно-дешифрировочные пробные площади и данные выборочной измерительно-перечислительной таксации в наиболее характерных, типичных выделах.

По данным замеров на пробных площадях и в типичных выделах устанавливаются зависимости между диаметрами и высотами крон и диаметрами на высоте груди, высотами деревьев и высотами до наибольшей ширины крон, высотами и диаметрами крон, высотами деревьев и высотами до окончания крон, сомкнутостью и полнотой, количеством видимых и невидимых на аэроснимках деревьев и другие множественные взаимосвязи, например, между высотами и диаметрами на высоте груди, диаметрами крон и возрастом; запасом, высотой и сомкнутостью полога и т. п.

Для стереоскопического анализа аэрофотоснимков, измерения разности продольных параллаксов, проведения других замеров используются различные стереоскопы и стереоизмерительные прибо-

ры, а также измерительные лупы, различного рода палетки и приспособления.

В камеральных условиях по аэрофотоснимкам аналитико-измерительным (или измерительным) способом устанавливают состав, полноту (сомкнутость) леса, по разности продольных параллаксов определяют высоту, на основе корреляционных взаимосвязей по составу, полноте, высоте и диаметру кроны вычисляют толщину деревьев и запас насаждений. Условия местопроизрастания, почву и ряд других характеристик определяют по косвенным показателям: приуроченности к определенным формам рельефа, тону и цвету изображения, структуре полога насаждения и т. п. Не покрытые лесом (вырубки, гари, прогалины) и нелесные (болота, сенокосы, пашни и пр.) площади дешифрируются на основе прямых и косвенных признаков, присущих им. При проведении полевых работ производится лишь выборочная проверка и уточнение характеристик, определенных измерительным путем.

При работах по новой технологии сокращаются объемы полевых таксационных работ примерно в 1,5—2 раза. В связи с этим объем таксационных работ, выполняемых одним исполнителем в расчете на год, возрастает в среднем в 1,5 раза. Соответственно сокращаются до минимума и натурные съемочно-геодезические работы. Затраты денежных средств при этом уменьшаются на 15—20%. Точность же таксационных работ, наоборот, даже несколько повышается за счет более детального изучения по аэрофотоснимкам всей площади выдела.

Если в первые годы новая технология применялась в относительно простых по структуре таежных лесных массивах, не затронутых хозяйственной деятельностью и в ограниченных размерах, то в настоящее время она применяется и в довольно сложных насаждениях. Ежегодный объем лесоустроительных работ, выполняемых по данной технологии, превысил 5 млн. га.

В настоящее время разработан вариант данной технологии применительно к условиям высокоинтенсивного лесного хозяйства, имеющего дробную структуру, который также базируется на рациональном сочетании аналитико-измерительного дешифрирования цветных спектральных аэрофотоснимков М 1 : 10 000 с наземными таксационными работами и внедряется в практику при проведении лесоустроительных работ в центральных районах Европейской части СССР (Сухих, 1966).

На территории СССР значительная часть лесов расположена в горных районах, где наблюдается определенная взаимосвязь характеристик произрастающих насаждений с комплексом физико-географических условий — рельефом, гидросетью, почво-грунтовыми, гидрологическими условиями.

К настоящему времени проведен ряд исследований по разработке методов дешифрирования лесов на ландшафтной основе. Разработана технология лесоустройства горных лесов, базирующаяся на сочетании аналитико-измерительного дешифрирования с на-

земными таксационными работами, в основе которой лежит ландшафтный метод. Эта технология апробируется в производственных условиях, в частности при изучении лесов северо-востока страны.

Широкое применение находят аэрометоды и при проведении лесочетных работ в труднодоступных и малообжитых районах Средней Азии. Древесно-кустарниковая и травянистая растительность пустынь имеет большое народнохозяйственное значение как источник дровяной древесины (виды саксаулов и др. кустарники) и кормовых ресурсов, в закреплении песков. Большое водоохранное значение имеют пойменные леса, расположенные в пустынных долинах рек.

Чрезвычайно велико также значение горных лесов Средней Азии. Они выполняют водоохранную роль, имеют большое эстетическое и санитарно-гигиеническое значение, а также поставляют народному хозяйству древесину и плоды дикорастущих растений (грецкий орех, можжевельник, фисташка, яблоня и др.).

Для инвентаризации этих лесов также разработаны методы, основанные на рациональном сочетании камерального таксационно-измерительного дешифрирования аэроснимков М 1:10 000—1:15 000 (в пустынях — черно-белых, в горах и поймах — спектроразнональных) с незначительными по объему полевыми работами и облетом территории на легкомоторных самолетах и вертолетах (Жири, 1969).

Существующая технология лесоинвентаризационных работ, в частности, в пустынных насаждениях, имеет ряд особенностей по сравнению с лесами умеренной зоны. Например, используются непосредственно измеряемые на аэроснимках диаметры крон кустов как основные таксационные показатели. С учетом этого таксационного показателя определяются видовые числа кустов, затем определяется сумма площадей проекций крон, после чего производится расчет запаса. Установлены также надежные корреляционные взаимосвязи возраста от видимых и измеряемых на аэроснимках показателей высоты и диаметра крон. Разработана также методика самолетного аэровизуального обследования пастбищ пустынь, которая в сочетании с аэротаксацией лесов позволяет получать более полную комплексную оценку ландшафта пустынных лесов для целей ведения лесного хозяйства.

При инвентаризации горных лесов с помощью аэрометодов широко используются всевозможные корреляционные зависимости, позволяющие ускорить и упростить получение необходимых данных. Например, после установления возраста насаждений и измерения диаметра крон на аэроснимках возможно установить вероятностный размер урожая орехоплодных насаждений.

В последние годы проведена серия опытно-производственных работ по применению крупномасштабных самолетных (М 1:3 000—1:5 000) и вертолетных (М 1:1 000—1:2 000) аэрофотосъемок для совершенствования технологии лесочетных работ.

Крупномасштабная вертолетная съемка пробных площадей одновременно двумя аэрофотоаппаратами позволяет получать данные о характеристике насаждений с высокой точностью как путем прямых измерений, так и на основе взаимосвязей таксационно-дешифровочных показателей. Некоторые показатели, такие, как высоты деревьев, диаметры крон, их длины измеряются в ряде случаев по аэрофотоснимкам даже с большей точностью, чем при наземных производственных работах.

Сочетание крупномасштабной и среднемасштабной съемок позволит значительно рационализировать производственный процесс и повысить точность, одновременно снизив трудоемкость наземных работ.

В Советском Союзе материалы аэрофотосъемки и аэрометоды широко используются для обследования санитарного состояния лесов, в первую очередь для целей выявления поврежденных вредителями, болезнями и различными стихийными бедствиями насаждений. Наиболее перспективными оказались для этих целей спектрорезональные пленки, которые позволяют не только обнаруживать на аэроснимках поврежденные насаждения и деревья, но и различать их по степени поврежденности.

Исследования по дешифрированию разных повреждений различных пород и насаждений по аэроснимкам в СССР начали проводить с 1926 г. В первоначальных работах в основном излагались условия выделения и отграничения участков сухостойного леса. В настоящее время проведены определенные исследования по изучению отражательной способности растений в зависимости от степени поврежденности и жизнедеятельности. Установлено, что при повреждении или ослаблении жизнедеятельности растений, как правило, происходит увеличение отражения лучистой энергии в видимой области спектра с одновременным уменьшением в области ближних ИК-лучей. В пределах видимой зоны спектра максимальное различие в спектральных яркостях здоровых и поврежденных растений находится в зоне 660—680 нм, т. е. в области главной полосы поглощения хлорофилла.

В последние годы проведен ряд оригинальных исследований по материалам цветной спектрорезональной аэрофотосъемки степени повреждения насаждений от действия загрязненности воздуха и дымовых газов, выделяемых промышленными предприятиями и от повреждения насаждений энтомологическими вредителями.

Так, например, при проведении исследований по аэроснимкам М 1 : 3 000 и 1 : 5 000 (аэропленка типа СН-6 за красным светофильтром) уверенно выделялись четыре степени жизнедеятельности деревьев: здоровые, слабо поврежденные (кроны средней густоты), сильно поврежденные (кроны редкие) и сухостойные деревья (без хвои) в насаждениях, поврежденных промышленными инверсиями (Самойлович, Кропов, 1972).

Исследования, проведенные в очагах распространения сибирского шелкопряда с аэроснимками М 1 : 3 500 и 1 : 13 500 (пленка

СН-6М за желтым светофильтром) показали, что путем дешифрирования аэроснимков можно с достаточной достоверностью выделить поврежденные насаждения и оценить степень их повреждения (ошибка не превышает  $\pm 7\%$ ). При этом по снимкам обоих масштабов с высокой точностью была оценена степень повреждения насаждений с разделением их на 5 групп. Для детальной оценки деревьев предпочтительнее оказались снимки крупного масштаба.

Материалы аэрофотосъемки находят применение при картировании лесных почв и типов условий местопроизрастания, в основе которых лежат ландшафтные методы, учитывающие приуроченность различных типов почв и условий местопроизрастания к определенным формам рельефа, а также комплекс прямых и косвенных признаков (Харин, 1965; Березин и др., 1969).

Но существующие методы интерпретации аэрофотоснимков в значительной степени основаны на субъективных оценках дешифровщиков и являются трудоемкими и недостаточно оперативными. Поэтому усилия ученых и производственников в настоящее время сосредоточены на вопросах, которые позволили бы повысить информативность съемочных материалов и автоматизировать процесс считывания информации.

Дальнейшее совершенствование методов лесохозяйственного дешифрирования связано с применением комплекса новых в лесном хозяйстве видов съемки, таких, как многозональные фотографические, телеметрические, инфратепловые, радиолокационные, а также использование снимков от крупномасштабных вертолетных до сверхмелкомасштабных космических.

Известно, что оптические свойства различных древесных пород и других лесных ландшафтов имеют значительную изменчивость в различных зонах спектра. Поэтому для целей повышения достоверности интерпретации съемочных материалов целесообразно съемку проводить одновременно в нескольких зонах спектра. Применяемые в настоящее время для целей лесоустройства съемки на цветные спектрзональные пленки СН-6М чувствительны к двум зонам. Увеличение числа зон и применение их различных комбинаций перспективно как для визуального, так и автоматического считывания информации со съемочных материалов. Об этом свидетельствует целый ряд исследований, проведенных как у нас в стране, так и за рубежом, при которых проводилась многозональная съемка различных природных образований 4—9 и более синхронно работающими съемочными камерами, как в видимой, так и ближней инфракрасной областях спектра. Это подтверждается и результатами опытных многозональных съемок, выполненных в 1973 г. В/О «Леспроект» совместно с ИКИ АН СССР в зоне распространения сосново-березовых лесов.

Так, например, с самолетов было выполнено многозональное фотографирование шестью фотоаппаратами АФА-39 в видимой и ближней областях спектра (размер кадра  $7 \times 8$  см, фокусное расстояние 100 мм). В видимой части спектра съемка выполнялась

на черно-белую фотопленку Тип 17 в 5 сравнительно узких зонах (50—80 нм), а в ближней инфракрасной на цветную СН-6М.

Из 5 исследованных зон видимой области спектра в лучшей по передаче контуров лесных выделов сосновых насаждений статистическая вероятность хорошей передачи составила 0,94, в худшей зоне — 0,83. При использовании двух зон (630—690 и 600—685 нм) вероятность хорошей передачи поднимается до 0,96. Такая же вероятность достигается при использовании цветных спектральных снимков, которым соответствуют две зоны (570—670 и 670—800 нм).

При использовании черно-белых снимков в трех зонах (630—690, 600—685, 510—585 нм) вероятность передачи равна 0,98.

Различные древесные породы имеют различные спектральные яркости, поэтому при съемке массивов леса, имеющих различное сочетание древесных пород и других природных ландшафтов, целесообразна многозональная съемка именно в тех зонах спектра, которые наиболее эффективны для данных конкретных условий. Но для установления наиболее эффективных зон необходимо продолжение исследований по изучению спектральных характеристик лесов различных районов применительно к определенным условиям съемки с помощью современной спектрометрической аппаратуры. Многозональное спектрометрирование должно обязательно сопровождаться фотопривязкой.

Значительный интерес для лесного хозяйства представляет и радиолокационная съемка, которая не зависит от погодных условий и имеет значительно больший захват территории. Возможность проведения съемки ночью, сквозь облака и туман очень существенна, поскольку необходимость проведения лесоучетных и лесообследовательских работ на больших территориях очень часто встречается с затруднениями из-за невозможности проведения аэрофотосъемочных работ ввиду плохой погоды и ограниченности времени. Важно и то, что в зависимости от влажности почвы и длины волны радарный луч не отражается непосредственно от поверхности или от растений, а может проникать на определенную глубину в почву, в зависимости от плотности грунта и подстилающей материнской породы, что может быть использовано при распознавании почвенно-лесотипологических разновидностей.

В целях предварительной оценки возможностей радиолокационной съемки применительно к задачам лесного хозяйства В/О «Леспроект» в 1973 г. были выполнены съемочные работы в зоне распространения сосново-березовых лесов. Съемки выполнялись ночью при сплошной облачности одновременно по левому и правому бортам самолета двумя радиолокационными станциями бокового обзора.

Конечно, современная аппаратура, применяемая при радиолокационных съемках, не позволяет получить съемочные материалы, равноценные по качеству аэрофотосъемочным материалам. Но в то же время на радиолокационных снимках М 1:90 000 величини-

на разрешающей способности оказалась равной 11 м на местности, что следует считать вполне удовлетворительным. При переходе к М 1 : 190 000 разрешение снимков ухудшалось в 2—2,5 раза, хотя условия съемки и параметры приемо-передаточного тракта радиолокационной аппаратуры оставались одинаковыми. Это объясняется тем, что входящая в него ЭЛТ, на которой формируется развертка изображения, обладает разрешением, ограничивающим информационные возможности материалов съемки в целом.

Сравнение экспериментально полученных разрешений на снимках М 1 : 90 000 с данными расчета разрешений по азимуту и дальности показало, что они наиболее близко совпадают с расчетными значениями по дальности и могут существенно (в 3—4 раза) быть выше расчетных разрешений по азимуту.

Оценка качества передачи границ леса показала, что на опытном участке, для которого характерно наличие контуров, в основном образованных границами между лесными и нелесными площадями, опознавание контуров произошло в 75% случаев. На площади, где преобладают границы между лесными участками, опознаны контуры в 66% случаев. При этом частота опознавания элементов размером менее 100 м находилась в пределах 76—66%. По радиолокационным снимкам возможно измерение высоты леса по длине радиолокационной тени в тех местах, где имеются достаточно резкие переходы от покрытых и не покрытых лесом участков, а также на границах между лесными участками, высоты насаждений в которых различаются на значительную величину. Наименьшее значение перепада высот, которое могло быть измерено на данных радиолокационных снимках, колебалось в пределах от 2,1 до 5 м, в зависимости от высоты съемки и величины задержки. В результате сравнения измеренных по 2 радиолокационным снимкам высот насаждений в 64 участках установлено, что высоты определены с систематическими ошибками, которые находились в пределах  $-6,8 \div +7,3\%$ . Среднеквадратическая ошибка в одном случае составила  $\pm 17,3\%$ , а в другом  $\pm 10,7\%$ .

Визуальная оценка тона участков, занятых хвойными и лиственными насаждениями, показала, что хвойные породы на радиолокационных снимках летнего периода съемки изображаются более темными тонами, чем лиственные. Различие в тонах более ощутимо на снимках зимнего периода.

Определенный интерес для целей лесного хозяйства имеет и тепловая съемка. Она может найти применение для обнаружения лесных пожаров, при почвенно-лесотипологическом картировании, установлении участков леса, находящихся на разных стадиях повреждения вредителями. При этом для решения второй и третьей задач, видимо, будет наиболее предпочтительной съемка в ночное время, когда учитываются только собственные температурные различия. Наиболее эффективна, конечно, тепловая съемка будет при обнаружении лесных пожаров, как наземных так и подземных, установлении их периметров.

В настоящее время большое значение придается исследованию природных ресурсов с помощью средств космической техники. При этом считается, что перспективными являются целый ряд отраслей хозяйства, в том числе сельское и лесное. Так, по данным американской печати, на каждый вложенный в разработку средств дальнего зондирования в сельском и лесном хозяйстве доллар можно ожидать получения 5-кратного дохода. Годовая экономия средств в период времени по 1975 г. от использования систем дистанционного зондирования в сельском и лесном хозяйстве США составит 10—40 млн. долл., а в мире — 50—60 млн. долл.

Анализ современного состояния и перспектив развития дистанционных средств дальнего зондирования позволяет определить перечень укрупненных задач лесного хозяйства, которые могут быть решены с их помощью. Это, прежде всего, обнаружение лесных пожаров, затем определение лесных ресурсов и, наконец, определение состояния лесов.

Одна из важных проблем, стоящих перед лесным хозяйством нашей страны, — разработка метода учета и картирования лесов Европейского Севера, Сибири и Дальнего Востока. Этот метод должен обеспечивать оперативное получение информации о лесных ресурсах крупного региона, быть экономичным и практически исключать наземные работы. В зависимости от величины района, в пределах которого производится инвентаризация лесов (область или лесхоз) устанавливается точность работ, дробность учетных единиц и масштаб картирования. Но во всех случаях метод должен основываться на аэрокосмической многозональной (на первом этапе спектральной) съемке. При этом из космоса должна проводиться площадная съемка с продольными перекрытиями 60% и поперечными 20% и иметь разрешение на местности, обеспечивающее безошибочное выделение учетных единиц (страт).

Одновременно или в течение одного съемочного сезона на территории необходимо произвести и выборочную самолетную съемку на те же типы пленок в различных масштабах. Такая съемка должна обеспечивать контроль за правильностью выделения страт и корректировку их границ, а также установление с необходимой точностью таксационной характеристики статистически расположенных по территории пробных площадей. Выделение страт, их опознавание, определение таксационных характеристик насаждений на пробных площадях на первом этапе должно производиться глазомерным аналитико-измерительным методом, в последующем — машинным путем.

Важной задачей является и определение оптимальных периодов аэрофотосъемки лесов, так как свойственные лесным фитоценозам фенологические смены вызывают изменение оптических свойств листьев, что в свою очередь влияет на характер изображения древесных пород на аэрофотоснимках.

В результате наблюдений Белова (1959), Харина (1965) установлено, что, например, в Европейской части СССР сроки лесной

аэрофотосъемки лучше всего согласовывать с фенологическими изменениями березы и дуба. Начинать аэрофотосъемку на инфракрасные и спектрально-фиолетовые пленки рекомендуется весной через 30 дней после начала облиствения (зеленения) березы и заканчивать ее осенью с началом пожелтения листьев.

В настоящее время сроки начала и окончания аэрофотосъемочного сезона для целей лесоустройства применительно к каждому конкретному району устанавливаются по средним многолетним данным, которые сильно варьируют в зависимости от климатических условий. В связи с этим допускаются случаи неполного использования возможного для аэрофотосъемки времени или, наоборот, проведение ее в условиях, не обеспечивающих получение аэрофотосъемочных материалов требуемого качества. Поэтому мы считаем одной из перспективных задач оперативное установление фенологического состояния лесов с помощью средств космической техники путем сплошной или выборочной мелкомасштабной съемки для целей составления фенологических карт.

Мелкомасштабные снимки или оперативно получаемые карты, характеризующие фенологическое состояние лесов, необходимы для решения и ряда других лесохозяйственных задач: установления сроков начала и окончания лесохозяйственных работ, периодов повышенной пожарной опасности и др.

Еще одной важной задачей, которая может решаться с помощью средств космической техники, является контроль за состоянием леса и уровнем хозяйственной деятельности.

Это прежде всего обнаружение очагов лесных пожаров, контроль за их развитием, картирование площадей лесов, пройденных пожарами. Применяемые в настоящее время методы обнаружения лесных пожаров, базирующиеся на данных аэровизуального или наземного патрулирования, недостаточно оперативны и трудоемки. Космические средства могут обеспечить в сжатые сроки путем сканирования просмотр всей территории, занятой лесами, и своевременно обнаруживать очаги пожаров. Особенно перспективно применение космических средств для этой цели в районах Европейского Севера, Урала, Сибири и Дальнего Востока.

Очень важная задача — своевременное обнаружение и картирование участков леса, поврежденных или повреждаемых вредителями, болезнями, промышленными инверсиями. Существующие методы не обеспечивают решения этих задач, так как они не в состоянии в сжатые сроки (хотя бы один раз в год) просмотреть всю площадь лесов, в связи с чем участки леса, заселенные вредителями или подверженные грибным и другим заболеваниям, своевременно не выявляются, болезни распространяются, а древесина своевременно не используется и разрушается. Применение комплекса высокоинформативных многозональных аэрокосмических дистанционных средств, в принципе, позволяет решить эту задачу.

Ежегодно на значительных площадях проводится рубка леса, лесовосстановительные мероприятия, лесомелиоративные и другие работы. Эти мероприятия должны проводиться в строгом соответствии с действующими правилами, без нарушения всего комплекса защитных и рекреационных свойств леса. Проводимый в настоящее время наземный контроль за хозяйственной деятельностью, хотя и достаточно тщательный, не позволяет комплексно просмотреть лес и изменения в нем в глобальном масштабе. А это необходимо, особенно в условиях горного рельефа, в малолесных районах, аридных, притундровых и других зонах. Космические средства позволяют одновременно просматривать большие территории. Периодическая съемка одних и тех же территорий позволяет проследить за динамикой изменений в лесном фонде и дать объективную оценку хозяйственной деятельности, чтобы обеспечить необходимый уровень ведения хозяйства.

Максимум необходимой информации для лесного хозяйства может быть получен лишь при условии применения комплекса различного вида съемок. Но применяемые в практике аналитико-измерительные методы дешифрирования не могут обеспечить качественный анализ и обработку возрастающего объема съемочной информации, так как они базируются на субъективных оценках и являются малопродуктивными. Поэтому на повестку дня встает новая проблема — автоматизация процессов лесохозяйственного дешифрирования.

Состояние теории лесотаксационного дешифрирования и технической кибернетики позволяет уже сегодня приступить к реализации, хотя бы частично, задачи автоматического считывания информации о лесах со съемочных материалов. Перспективными в этом отношении являются микрофотометрические методы анализа материалов черно-белых и цветных многозональных съемок, с помощью которых могут быть решены такие задачи, как распознавание различных категорий площадей и объектов, разделение лесных массивов на однородные участки, распознавание древесных пород, обнаружение поврежденных вредителями деревьев или участков леса, измерение сомкнутости полога леса или его густоты, а также диаметров крон деревьев, выявление фенологического состояния леса и пр. Особенно перспективны микрофотометрические методы при дешифрировании мелко- и сверхмелкомасштабных снимков, где они могут стать основополагающими.

Считаем, что в системе методов и технических средств, применяемых для лесохозяйственного дешифрирования, должны найти место методы синтеза материалов многозональных съемок, методы оптической фильтрации, принципы голографии и др.

Но лесохозяйственное дешифрирование, особенно лесотаксационное, усложняется тем, что по съемочным материалам необходимо измерять высоту леса и устанавливать истинные характеристики леса, которые далеко не тождественны изображенным на снимках. Поэтому автоматизированная система, пред-

назначенная для характеристики лесов по материалам дистанционных съемок, должна базироваться на совершенных технических средствах, позволяющих считывать с высокой точностью необходимую информацию со снимков, преобразовывать ее с учетом существующих корреляционных зависимостей между таксационными показателями насаждений и выдавать в виде соответствующих таблиц и карт.

В связи с этим возникает необходимость в проведении работ по моделированию насаждений, всестороннему изучению морфологии леса, структуры его полога.

В процессе разработки новых дистанционных методов изучения лесов на основе многозональных и космических съемок будут уточняться перечень задач, подлежащих решению, совершенствоваться технические средства. Но несомненно то, что применение высокоинформативных съемочных материалов, оперативное получение их и разработка полуавтоматических и автоматических методов считывания информации со снимков уже в ближайшем будущем должны позволить поднять уровень ведения лесного хозяйства на более высокую качественную ступень.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Белов С. В.* Аэрофотосъемка лесов. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Березин А. М., Вавилов Е. И., Григорьев А. А.* Индикационная роль лесной растительности при дешифрировании почв и четвертичных отложений. Л., «Наука», 1969.
- Бочаров М. К., Самойлович Г. Г.* Математические основы дешифрирования аэроснимков леса. М., «Лесная промышленность», 1964.
- Демидов Е. С., Сухих В. И.* Новая технология лесоинвентаризации на основе рационального сочетания наземной таксации с камеральным дешифрированием аэрофотоснимков. М., Изд-во НТО лесной пром-ти и лесного хоз-ва, 1974.
- Долгополов В. Г., Кулаков Г. М.* Применение современной телеметрической техники в лесном хозяйстве. (Обзор). М., Изд-во ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1972.
- Жирин В. М.* Применение аэрометодов при инвентаризации пустынных лесов. Вопросы лесоустройства. М., Изд-во В/О «Леспроект», 1969, вып. I.
- Надь Г.* Цифровая обработка изображений, полученных при дистанционном исследовании природных ресурсов.— ТИИЭР. М., «Мир», 1972, № 10.
- Самойлович Г. Г.* Методика изучения насаждений для лесного дешифрирования аэроснимков и аэротаксации лесов. Л., Изд-во ЛТА им. Кирова, 1956.
- Самойлович Г. Г.* Применение материалов аэросъемки и авиации в лесном хозяйстве. М., «Лесная промышленность», 1964.
- Самойлович Г. Г.* Полевая практика работы с аэрофотоснимками при таксации леса. Л., Изд-во ЛТА им. Кирова, 1967.
- Самойлович Г. Г., Даниюлис Е. П.* Исследование по совершенствованию технологии инвентаризации лесов с цветными спектральнозональными аэроснимками при повторном лесоустройстве.— Тр. ЛТА им. Кирова, № 131. Л., 1970.
- Самойлович Г. Г., Кропов П. А.* Результаты применения аэрофотоснимков для лесопатологического дешифрирования насаждений.— В сб.: Защита леса. Тр. ЛТА им. Кирова, № 144. Л., 1972.
- Синицын С. Г., Сухих В. И.* Эффективность использования спектрально-

ной аэро съемки при лесоустроительном дешифрировании. М., Изд-во ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1968.

*Сулик В. И.* Совершенствование технологии таксационных работ на основе дешифрирования аэроснимков.— В сб. Материалы научно-технической информации, вып. 2. Л., Изд-во ЛТА им. Кирова, 1966.

*Харин Н. Г.* Лесохозяйственное дешифрирование аэроснимков. М., «Наука», 1965.



*А. С. Исаев, Д. М. Киреев*

## ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЛЕСОВ ИЗ КОСМОСА

Леса относятся к природным образованиям, характеризующимся громадной протяженностью, слабой доступностью для непосредственного наблюдения, долговечностью, сложностью и динамичностью биоценозов. Лесам свойственна тесная взаимосвязанность слагающих их компонентов: атмосферы, вод, растительности, животного мира, почв и литогенной основы. Несмотря на разнородность лесной территории, леса обладают определенной общностью и повторяемостью свойств и структур, что позволяет устанавливать общие закономерности их строения и территориального распространения, состояния и развития. Эти задачи могут успешно решаться современными методами получения и обработки информации, поступающей с самолетов и космических аппаратов, регистрирующих элементы природной обстановки одновременно на большой территории. Особо важное значение приобретает регулярность получения повторной информации, фиксирующей изменения в такой динамичной системе, какой является лес.

В зависимости от специфики лесных территорий, поставленных задач и характера материалов дистанционной регистрации, объектами наблюдения и изучения из космоса являются не отдельные однородные участки леса, а природно-территориальные комплексы (ПТК) различной величины и сложности. Отсюда задачи космических исследований распадаются на две большие группы: 1) изучение структуры ПТК лесных территорий, т. е. относительной статистики лесов; 2) изучение динамических явлений и процессов в пределах выявленных ПТК. Изучение структуры и изменений ПТК мы рассматриваем как первоочередные задачи современного этапа дистанционных исследований.

Для выявления и группировки ПТК представляется перспективным использование различных индикационных методов, основанных на интерпретации физиономических элементов лесных территорий. В Институте леса и древесины СО АН СССР разработан метод экоиндикаторов, предусматривающий сопряженную экологическую интерпретацию совокупности основных компонентов и факторов природного ландшафта: рельефа, горных пород, почв, лесной растительности, последствий деятельности человека и др.

Использование этого метода позволяет дать оценку экологических режимов ПТК в относительных градациях и провести разностороннее типологическое картирование лесной территории.

Для выявления морфологической структуры лесных ландшафтов применен метод разномасштабных ключей. На ключах разной величины изучается структура природных комплексов различной сложности. Последовательное многоступенчатое изучение структуры ПТК совмещается с ландшафтным картированием. На самых больших ключах I порядка в М 1:1 000 000 выявляются и картируются ландшафты; на ключах II порядка в М 1:200 000 — виды местностей и сложных урочищ; на ключах III порядка в М 1:25 000 в пределах видов местностей изучаются урочища и подурочища; в пределах видов урочищ на ключах IV порядка в М 1:10 000 изучается и картируется фациальная структура. Такой подход позволяет осуществить наиболее рациональное размещение топо-экологических профилей и обеспечить полный охват всего видового разнообразия природных комплексов. Ожидается, что ландшафтная интерпретация ключей I, II и отчасти III порядков, которая сейчас проводится на топокартах и мелкомасштабных снимках, в дальнейшем более успешно будет проводиться на космических снимках. Эффективность ландшафтного метода проверена при комплексном изучении лесов, выполняемом в ряде районов Средней Сибири.

В результате изучения структуры ландшафта и его послонного картирования в соответствующих масштабах создается природная основа для решения целого комплекса важных лесохозяйственных проблем. Качественно новые перспективы открываются при решении проблемы тематического лесного картирования: лесохозяйственного, лесозащитного, геоботанического, лесотипологического, лесозонтологического, почвенного, пирологического, охотоведческого, гидрологического, болотного, лесомелиоративного и др.

На ландшафтно-географической основе наиболее эффективно решаются вопросы экологической оценки лесных земель в целях повышения продуктивности лесов, лесохозяйственного районирования и порайонного ведения лесного хозяйства.

Выявление экологически однородных типов земель позволяет дифференцированно решать вопросы землепользования и землеосвоения, что важно для повышения общей продуктивности крупных природных подразделений лесной территории. Природно-географическая структура лесных массивов служит стабильной основой для оптимизации административно-хозяйственного расчленения лесов, лесоустройства и лесинвентаризации. Усовершенствование существующих методов в данном случае будет достигнуто за счет выявления наиболее однородных в природно-экологическом и хозяйственно-экономическом отношении лесохозяйственных выделов и более крупных участков лесных территорий.

Наибольший эффект от использования космических средств для решения различных народнохозяйственных задач ожидается при изучении естественных и антропогенных динамических процессов, протекающих в лесу.

Естественная динамика объединяет циклические явления, спонтанно возникающие в ПТК, включая сезонные, годовые и вековые циклы.

Знание сезонных циклов необходимо для установления оптимальных сроков различных лесохозяйственных работ. Закономерности сезонных циклов используются также в качестве индикаторов при оценке продуктивности лесов и прогнозировании урожая ценных лесных растений, семян, плодов, ягод, грибов и др. В этих целях на эталонных и ключевых участках регистрируются спектральные характеристики различных лесных объектов, интегральные характеристики природных комплексов и определяются дешифрировочные признаки, характеризующие качественные и количественные показатели лесных ресурсов.

Изучение сезонных циклов гидрологических явлений и динамики снежного покрова предполагается использовать для определения норм оптимальной лесистости водосборных бассейнов крупных рек и наиболее рационального размещения в их пределах лесных массивов.

Годовые циклы, сопряженные с периодическими изменениями солнечной активности, во многом определяют динамику численности вредных лесных насекомых. Изучение этих циклов параллельно с периодичностью атмосферных явлений, засух, переувлажненных лет открывает перспективы долгосрочного прогнозирования вспышек массового размножения вредителей и своевременной организации эффективных мер защиты леса.

На основе реконструкции динамики очагов в прошлом и анализа их пространственной структуры в системе ПТК устанавливаются основные закономерности размещения очагов наиболее опасных вредителей леса. В сочетании с другими методами прогноза это позволяет осуществить вероятностный контроль за резервациями вредителей, исключающий внезапность их массового размножения. Регистрация очагов вредителей осуществляется по изменению спектральной яркости древесного полога поврежденного насаждения и ряду дешифрировочных признаков, свидетельствующих о переходе популяции вредителя в фазу вспышки. В системе мер по интегрированной защите лесов Сибири эти методы успешно апробированы на примере сибирского шелкопряда и большого пихтового усача в приенисейской части Средней Сибири.

На мелкомасштабных снимках хорошо фиксируется территориальное размещение коренных и производных растительных сообществ, обусловленное вековыми сукцессионными циклами. Эти циклы возникают в результате изменений климата, массовых размножений вредных насекомых на больших территориях, обшир-

ных по площади лесных пожаров, различных видов деятельности человека. Знание экологии древесных пород и лесоводственных закономерностей их смен позволяет осуществить реконструкцию динамики лесной территории в вековом масштабе. Это крайне необходимо для оценки потенциальной и фактической продуктивности лесов и разработки оптимальных вариантов ведения лесного хозяйства.

Особенно важна служба спутников для получения информации о стихийной динамике лесных сообществ, вызванной воздействием внешних природных и антропогенных факторов. Со спутников могут регистрироваться массовое размножение вредителей леса, лесные пожары, ветровал и бурелом на больших площадях, наводнения, подтопления и затопления в пределах береговых зон.

Наиболее пагубны по своим последствиям лесные пожары. Использование космической съемки открывает возможности решения различных аспектов этой сложной проблемы, включающей определение пожарной опасности лесных участков и их потенциальной горимости, обнаружение пожаров различной величины в ясную и облачную погоду, оценку интенсивности пожара, плотности тепловых потоков, скорости распространения огня и др. Особое значение приобретает регистрация параметров пожара в зоне интенсивного задымления, исключающего визуальное обнаружение фронта огня. Все эти сведения необходимы для разработки стратегии и тактики ликвидации лесных пожаров минимальными средствами.

Для выявления отрицательных последствий лесного пожара в каждом конкретном случае важно установить степень воздействия огня на лесные биогеоценозы. Оценка послепожарного состояния древостоев по степени поврежденности насаждения огнем и вероятности размножения на горях вредных насекомых осуществляется путем выявления спектральных характеристик поврежденных участков и дешифрировочных признаков состояния насаждений.

В более широком плане воздействие пожаров на лес можно регистрировать на картах лесных пожаров различной давности. Карты пожаров по космическим снимкам составляются на основе дешифрирования производных сообществ на различных стадиях пирогенных сукцессий, отражающих периодичность и интенсивность воздействия пожаров на леса данного региона.

Все эти материалы позволяют обосновать систему лесохозяйственных мероприятий, направленных на ликвидацию отрицательных последствий лесных пожаров.

Леса являются природными образованиями, сильно подверженными различным антропогенным воздействиям, масштабы и закономерности которых становятся доступными для изучения только благодаря одновременному обзору огромной территории. В лесах протекают различные дигрессивные и восстановительные смены под влиянием пастбы, рубок, пожаров, строительства, за-

дымления, мелиорации др. На вырубках и гарях часто развиваются процессы эрозии, заболачивания и разболачивания.

Дистанционная регистрация может дать важную информацию о динамике болот и заболоченных лесов. На космических снимках можно одновременно наблюдать крупные болотные системы и прилегающие к ним водосборные территории, связанные общим стоком, оценивать структуру болот на различных таксономических уровнях и проводить лесоболотное районирование территории с выявлением регионов, перспективных для гидротехнических мелиораций.

Периодическая регистрация гидрологических режимов заболоченных территорий позволяет судить о направленности болотообразовательного процесса и эффективности гидролесомелиорации при выполнении таких крупных программ, как переброска стока сибирских рек на юг и др.

По материалам космической съемки возможно определение масштабов и специфики антропогенных смен лесной растительности в различных природно-территориальных и зональных комплексах. Это важно для эффективной оценки лесокультурного фонда, планирования лесокультурных работ, организации лесохозяйственных мероприятий для регулирования и направления процессов лесовосстановления и лесовыращивания. На основе данных о лесных сукцессиях, изученных одновременно на больших территориях, возможно прогнозирование процессов лесовосстановления, динамики лесного фонда и лесных ресурсов.

По космическим снимкам, полученным с большими промежутками, возможен контроль за использованием лесных ресурсов лесозаготовителями, регистрация изменения лесного фонда по мере освоения лесного массива лесной промышленностью, территориальная оценка эффективности использования леса и сырьевых баз. На основе этих данных возможно корректирование государственных планов лесозаготовок по отдельным лесоэкономическим районам, решение вопросов оптимизации размещения лесозаготовок с учетом требований лесного хозяйства.

Перечисленный круг вопросов и проблем по оценке состояния лесов с помощью космических средств требует принципиально нового методологического подхода. Это связано с широтой и качественным составом информации, ее разносторонним научным содержанием. Уже сейчас крайне необходимо обобщение имеющихся сведений по географии и экологии лесов применительно к возможностям космических методов регистрации Земли, т. е. разработки теоретических основ и принципов нового направления — «Экологическая география лесов», содержанием которого должно явиться изучение лесообразовательного процесса в широком географическом и динамическом аспектах.



## ВОПРОСЫ ДИСТАНЦИОННОГО ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Бурная интенсификация сельского хозяйства на базе широкой мелиорации и химизации земель, резкое увеличение масштабов и стоимости проводимых мероприятий чрезвычайно обострили вопрос о системе получения оперативной, детальной по содержанию и более частой по времени информации о состоянии земель и сельскохозяйственных культур на огромной территории нашей страны.

Перспективны в этом отношении дистанционные методы получения информации о земельных ресурсах и посевах. В системе Министерства сельского хозяйства СССР применяются различные способы получения информации при изучении земель и посевов. Картографирование сельскохозяйственных угодий путем аэрофотосъемки и комбинированного дешифрирования аэроснимков выполняют подразделения Всесоюзного института сельскохозяйственных аэрофотогеодезических изысканий МСХ СССР. Частично эти же вопросы решают в процессе изыскательских работ Государственные проектные институты по землеустройству МСХ союзных республик. Результатом указанных работ являются планы землепользований хозяйств (колхозов, совхозов и др. землепользователей) в М 1:10 000 и 1:25 000, которые по точности соответствуют топографическим планам соответствующих масштабов. Периодичность обновления планов землепользований колеблется в пределах от 3 до 8 лет в земледельческой зоне и до 15—20 лет на пастбищных землях.

Планы землепользований используют в основном для составления проектов землеустройства, мелиорации земель, противоэрозионных мероприятий и в других проектных работах. Помимо этого планы землепользований служат в той или иной мере планово-картографической основой при выполнении обследовательских работ (почвенных, геоботанических, мелиоративных, агропроизводственных, при инвентаризации земель и др.). Путем измерения на планах землепользований площадей угодий получают необходимые числовые данные для учета земельного фонда страны (сведения о землепользователях и угодьях). На основе этих планов составляют сельскохозяйственные карты по тематике: землепользование, сельскохозяйственные угодья, использование земель, почвенные, геоботанические и другие карты. Карты составляют для районов в М 1:50 000 и 1:200 000, областей (краев, АССР)— М 1:200 000 и 1:1 000 000, союзных республик— М 1:750 000—1:2 500 000 и страны в целом— М 1:1 000 000—10 000 000. Однако мелкомасштабные карты играют в основном

иллюстративную, справочную роль и измерения по этим картам выполняются редко. Основную цифровую информацию получают путем измерения площадей на планах землепользований (обычно на фотопланах и крупномасштабных картах).

Таким образом, информация в графической форме (в виде планов землепользований) применяется для проектирования, как плано-картографическая основа для обследований и картографирования и для получения необходимой информации в цифровом виде.

В дальнейшем для целей планирования используется информация, в основном, в цифровом виде, а графическая (в виде различных карт) играет вспомогательную роль. Т. е. информация о площадях различных угодий, культур, почв и т. п. генерализуется, обобщается путем суммирования для района — площадей хозяйств, для области — площадей районов и т. д.

На основе изложенного можно выделить следующие уровни использования информации о земельных ресурсах и сельскохозяйственных культурах, получаемой дистанционными методами:

1) хозяйство (колхоз, совхоз и другие землепользователи), информацию для которого получают и используют в графической форме, преобразуя ее затем в цифровую форму;

2) район (административный), основной формой потребления информации для него и последующих уровней является цифровая информация, а графическая (в виде карт) имеет вспомогательную, иллюстративный характер;

3) область (край, АССР);

4) союзная республика;

5) страна в целом.

Помимо указанных, могут быть образованы и другие (промежуточные) уровни: региональные, зональные и т. д.

Кроме землеустроительной службы, задачей которой является землеустройство, регулирование землепользования и охрана земель, потребителями информации, получаемой дистанционно, могут стать службы, пользующиеся пока еще, в основном, наземными методами обследований, это:

служба защиты растений, которую интересует информация о вредителях и болезнях растений;

охрана природы, которой необходима информация о степени загрязненности воздуха, загрязнении почв и водоемов, а также о вредных для жизни человека и животных концентрациях ядохимикатов в растениях и почвах;

агрохимслужба, планирующая производство и использование химических удобрений в стране;

сельскохозяйственная наука, разрабатывающая вопросы современного и перспективного улучшения и рационализации в использовании земельных ресурсов отдельных регионов и страны в целом, а также оценивающая результативность хозяйственных мероприятий.

Все увеличивающееся воздействие человека на природу требует получения большой по объему и более частой по срокам и периодам информации о состоянии земель и сельскохозяйственного производства.

В настоящее время имеются лишь самые общие сведения о почвенном покрове земель, занятых лесами (лесфонд) и находящихся в госземзапасе. Недостаточны сведения о мелиоративном состоянии земель (поливных и осушенных). Отрывочна и не всегда количественно объективна информация об эрозии почв и эффективности противоэрозионных мероприятий. Крайне мало сведений о потенциальных возможностях естественных пастбищ.

Сельскохозяйственные органы испытывают постоянную потребность в периодической информации о состоянии и интенсивности развития сельскохозяйственных культур, своевременном выявлении очагов и установлении скорости и направления распространения болезней и вредителей растений, определении засоренности сельскохозяйственных посевов сорняками, изреженности посевов. Необходима оперативная информация о ходе развития важнейших сельскохозяйственных культур. Эти сведения позволят оптимально маневрировать сельскохозяйственной техникой и трудовыми ресурсами, организовать обработку, хранение и реализацию сельскохозяйственной продукции.

Как показывает отечественный и зарубежный опыт, сейчас используются эффективные авиационно-космические средства для выполнения оперативных наблюдений, с целью получения такой информации. Искусственные спутники Земли обеспечивают наблюдения, съемку и передачу данных о циркуляции атмосферных воздушных масс, состоянии облачного покрова, выпадении осадков и других факторах, необходимых для составления надежных прогнозов погоды, очень важных для сельского хозяйства. Они также позволяют получать большой объем информации о районах, пострадавших от стихийных бедствий, выявлять характер поражения сельскохозяйственных посевов, степень смыва и заиления почв после наводнений и т. п.

Применение многоспектральной и ИК-аппаратуры, установленной на спутниках и самолетах, позволяет осуществлять наблюдения за интенсивностью роста сельскохозяйственных растений во время вегетационного периода, выявлять их болезни задолго до того, как это будет заметно визуально, контролировать нашествия насекомых — вредителей, прогнозировать урожайность.

По известным данным, оценка интенсивности роста сельскохозяйственных культур основана на том, что пористая мезофильная ткань здорового листа хорошо отражает излучение в видимой и ИК-зонах спектра. Нарушение водного режима в листьях вызывает разрушение мезофильной ткани, в результате чего изменяется спектральная отражательная способность растения, особенно в ИК-части спектра. В результате этого может быть также зафиксировано всякое повреждение растений, вызываемое болез-

ниями, насекомыми, заморозками, засухой, дефицитом минеральных веществ и другими факторами.

Обширность территорий, занятых пастбищами, должна обуславливать применение ИСЗ для выполнения периодических съемок с целью наблюдения за состоянием и продуктивностью этих угодий.

Представляется возможным использовать самолетную радиолокационную и ИК-аппаратуру для определения уровня залегания грунтовых вод, изменений поверхностного увлажнения и по этим данным устанавливать оптимальные сроки проведения полива и объем воды, необходимый при возделывании сельскохозяйственных культур на орошаемых землях.

Важная задача при создании планов землепользований — сокращение длительности полного цикла производственных процессов, составляющей пока 3—6 лет. Эта длительность приводит к более или менее значительному старению планов уже в процессе их создания. Наиболее реальным путем сокращения этих сроков является использование максимально возможного увеличения фотоизображения и высоты фотографирования. Для разработки новой технологии и широкого ее внедрения необходимо обобщить имеющийся опыт и завершить теоретические и экспериментальные исследования основных вопросов: фотографирования с больших высот, аналитического фототриангулирования, комбинированного дешифрирования, изготовления фотопланов и планов. Существующие варианты требуют сравнительного анализа, **научного и экспериментально выбранного варианта**. Нуждаются в научном обосновании вопросы периодичности обновления и выбора масштабов планов землепользований.

Другой задачей является разработка аэрометодов для почвенных и геоботанических обследований с целью их широкого внедрения в практику работ. Научные исследования здесь направлены на:

выбор оптимальных условий аэрофотосъемки (аппаратура, материалы, время съемки, зоны спектра и их число);

разработку методики почвенного и геоботанического дешифрирования с использованием эталонов и ключей;

разработку рациональной методики картографирования в зависимости от масштаба составляемых карт и природно-хозяйственных условий района.

Первостепенная задача — разработка методики создания и обновления различных картографических материалов, создаваемых для целей сельского хозяйства на основе материалов космических съемок.

Здесь необходимо отработать технические требования к картографическим материалам, используемым как в качестве основы для проектирования (содержание, оформление, масштаб карт и т. д.), так и для картографических моделей проектов, схем землеустройства и различных обследовательских работ (набор

карт и выбор картографических средств для оформления содержания карт — условных знаков, красок и др.).

На первом этапе исследований необходимо выяснить возможность применения дистанционных методов для:

общей характеристики земельного фонда и состояния его использования;

изучения почвенного покрова и эрозионных процессов;

оценки состояния посевов и естественных кормовых ресурсов;

определения распространения сорняков, вредителей и заболеваний сельскохозяйственных растений;

прогнозирования урожая, сроков и интенсивности созревания сельскохозяйственных культур;

наблюдения за сезонной увлажненностью и засоленностью почв и др.

Кроме того, региональные особенности потребуют дополнительных разработок, учитывающих местную специфику (например, обследование поливных и осушаемых земель, высокогорных и пустынных пастбищ и т. п.).

На втором этапе следует перейти к разработке дистанционных методов решения тех из перечисленных задач, которые в кратчайшие сроки обеспечат наибольшую эффективность.

Для осуществления перечисленного выше необходимо выполнение обширных научных исследований, основной целью которых является установление зависимости между объектами (угодьями, почвами и растительностью) и их отражательной способностью.

Это позволит решить частные вопросы по:

выделению (отделению, разделению) изучаемых объектов от смежных объектов или их фона;

распознаванию (опознаванию, узнаванию) объектов, т. е. отнесению их к той или иной таксономической единице принятой классификации или определению характеристик состояния объекта;

измерению или преобразованию информации к виду, удобному для использования при решении поставленной задачи.

Основные затруднения при выполнении указанных выше исследований вызывает то обстоятельство, что в результате совместного влияния большого числа факторов различные объекты получают сходные яркости. Выход из этого положения может быть найден путем: а) расширения спектрального диапазона съемок — от ультрафиолетового до микроволнового; б) учета структуры изображения конкретных объектов (подсолнечника, пшеницы и т. д.), что потребует, однако, очень крупных масштабов съемок или больших разрешений; в) изучения влияния основных факторов на отражательную способность изучаемых объектов, что позволит выполнять съемки в оптимальное время, когда эти объекты хорошо различаются, т. е. наиболее физиономичны.

Наиболее целесообразным представляется использовать сочетания указанных выше методов.

Изучение влияния различных факторов, которые изменяют отражательную способность различных объектов, должно выполняться:

в лабораторных условиях (по каждому фактору в отдельности или по группе их);

в полевых стационарных условиях (регионально по различным видам почв и растительности);

в полевых условиях, синхронно с воздушной съемкой, путем фиксации значений отдельных факторов (влажности, засоленности почв, фазофаз растений и т. д.) и измерения спектрального отражения как на земле, так и с воздуха (для учета влияния непрозрачности атмосферы).

Зафиксированные спектральные яркости, представляющие собой результат совместного влияния различных факторов, и измеренные значения факторов позволят установить величину влияния отдельного фактора на отражательную способность изучаемых объектов, их аддитивность и т. п. Эти данные послужат материалом для построения спектральных кривых (образов).

Для того, чтобы выявить изменения изучаемых объектов в течение года под влиянием различных факторов, необходимо собрать статистический материал и обработать полученные данные (определить средние значения, их вариации по годам и в течение года и т. д.). Кроме того, экспериментальные работы должны предусматривать первичное обследование территории с целью их общего природно-сельскохозяйственного описания для обоснованного набора эталонных, текстовых участков и точек наблюдения (для синхронных и стационарных наблюдений).

Для решения различных задач, связанных с дистанционным изучением земель и наблюдением за состоянием сельскохозяйственных культур, необходимо установить зависимость между угодьями, почвами и растительностью, с одной стороны, и их спектральной яркостью.

Ориентировочно на территории СССР будет примерно 12 тыс. почвенных таксономических единиц и 14 тыс. основных видов растений, т.е. около 26 тыс. объектов.

В настоящее время научные исследования направлены на решение трех основных вопросов:

1. Совершенствование аэрофотогеодезических работ, выполняемых для целей землеустройства, учета и оценки земель, а также для разработки методик дистанционных наблюдений за состоянием сельскохозяйственных растений (естественных и культурных) и использованием достижений фотохимии и оптики.

2. Автоматизацию процессов получения и интерпретации изображений сельскохозяйственных угодий, растительности (культурной и естественной) и почв.

3. Разработку теоретических основ аэрофотогеодезических про-

цессов получения и интерпретации изображений местности в интересах сельского хозяйства.

По первому вопросу основное внимание обращается на дальнейшее сокращение сроков создания и корректировки планов землепользований. С этой целью исследования направлены на дальнейшее внедрение больших увеличений фотоизображения и аналитическое фототриангулирование.

В связи с тем, что в почвенных, геоботанических и других обследованиях начинают широко применяться аэрофотометоды, научные исследования здесь направлены на переход от использования аэроснимков, как вспомогательного материала, к разработке и внедрению метода дешифрирования в камеральных работах и ключевого метода при выполнении различных обследований в поле.

Продолжаются исследования, связанные с разработкой физико-технических методов изучения земельных ресурсов; изучаются возможности тепловой, радарной и многоспектральной аэро съемок применительно к решению задач, представляющих интерес для сельского хозяйства страны.

По второму вопросу продолжается изучение спектральных яркостей и отражательной способности сельскохозяйственных угодий, растительности (естественной и культурной), а также почвенного покрова в различных природных условиях СССР. Конечной целью этой работы является получение спектральных кривых различных объектов, которые позволят использовать ЭВМ для их распознавания.

В последнем вопросе основное направление исследований — разработка теоретических аспектов, связанных с метрическими и информативными свойствами изображений. В этом важном направлении основные научные результаты получаются пока трудоемким и дорогостоящим экспериментальным путем. Разработка теоретических основ и методов получения и интерпретации изображений местности позволит значительно сократить количество экспериментов, необходимых для научного обоснования технологии создания планов землепользований, методик проведения различных обследований и наблюдений за состоянием сельскохозяйственных культур.



*Н. Н. Головина, В. В. Горбачев, А. В. Журов,  
А. И. Лавров, А. Г. Николаев, Н. А. Романова,  
Ф. Н. Чалидзе, Д. Е. Минский*

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

В соответствии с программой интенсификации сельскохозяйственного производства, дальнейшее развитие отечественной мелиоративной науки направлено на разработку методов всестороннего регулирования внешних факторов, определяющих урожайность (прежде всего на оптимизацию водного, питательного и теплового режимов почв), и создание на этой основе технически совершенных, экономически рентабельных автоматизированных мелиоративных систем.

Для решения этих задач необходимы сбор и обработка очень большого количества разнообразной информации о природно-хозяйственных условиях мелиорируемых земель. При этом первоочередной интерес представляет оперативная информация по следующим показателям:

влажность и засоленность почвогрунтов на мелиорируемых территориях;

глубина залегания грунтовых вод;

состояние сельскохозяйственных посевов;

техническое состояние гидромелиоративных сооружений (каналов, шлюзов и т. д.);

состояние берегов рек-водоприемников и водохранилищ;

снегозапасы на мелиорируемых площадях и прилегающих водосборах;

условия прохождения паводка в створах ответственных гидротехнических сооружений мелиоративных систем (дамб обвалования, насосных станций, шлюзов и т. д.);

эрозия почв.

Весьма важным является также разовый или сравнительно редко повторяемый сбор сведений о состоянии отдельных регионов, как правило, в неосвоенных областях, для составления специальных карт (инженерно-геологических, гидрогеологических, почвенно-мелиоративных, культуртехнических), используемых при проектировании мелиоративных мероприятий.

Вся вышеперечисленная информация должна быть полноценной по составу и объему, прошедшей предварительную обработку и представленной в нужные сроки. Однако применяемые в настоящее время в почвенно-гидрогеологических и других изысканиях контактные методы измерений не удовлетворяют поставленным требованиям. Помимо своей трудоемкости и неоперативности, эти

методы дают значения изучаемых параметров в отдельных точках, которых явно недостаточно для характеристики всего массива. Результаты исследований последних лет свидетельствуют о значительной изменчивости водно-физических свойств почвогрунтов во времени и в пространстве.

Примером может служить пространственная изменчивость одного из основных параметров — коэффициента фильтрации ( $K_f$ ), являющегося показателем водопроницаемости почвогрунтов и используемого при расчетах расстояний между дренами. Как правило, степень изменчивости  $K_f$ , характеризуемая коэффициентом вариации, колеблется от 0,3—0,4 для песчаных до 0,8—0,9 для тяжелосуглинистых и глинистых отложений.

Не менее важным параметром с точки зрения мелиоративного проектирования и эксплуатации является влажность почвогрунтов и, в частности, ее предельные значения: полная и полевая влагемкость, влажность устойчивого завядания, а также запасы продуктивной влаги в корнеобитаемом слое в различные периоды вегетации сельскохозяйственных растений. И хотя в литературе отсутствуют необходимые обобщения по этому вопросу, имеющиеся данные позволяют говорить о значительной пространственной (по глубине и площади) и временной изменчивости этих показателей (Вериго, 1973).

Таким образом, налицо необходимость иметь надежные приемы перехода от измерений в точках к характеристике явлений по всему пространству. Широкие возможности для перехода к таким пространственным измерениям открывают аэро- и космические методы дистанционных измерений (Балаев и др., 1973).

Большие возможности для оценки мелиоративного состояния сельскохозяйственных земель предоставляют материалы, полученные с помощью фото- и телевизионной аппаратуры, установленной на самолетах или искусственных спутниках Земли. Нами проведена работа по дешифрированию телеснимков территории Ферганской долины, причем особое внимание уделялось определению влажности, засоленности почв и глубины залегания грунтовых вод. Одновременно производилось сравнение дешифрируемости этих материалов с черно-белыми аэрофотоснимками той же территории.

Телевизионная съемка проводилась на профиле с шириной захвата 5 км в М 1:100 000. Используемая для этой цели сканирующая система выдавала видеoinформацию в четырех спектральных диапазонах видимой и ближней ИК-области спектра: 0,4—0,45, 0,5—0,55, 0,6—0,68, 0,72—0,82 мк. При параметрах сканирования 4 стр/с и угле поля зрения  $51^{\circ}30'$  на основной рабочей высоте система обеспечивала разрешение на местности  $8 \times 16$  м поперек и вдоль полета соответственно. В качестве детекторов излучения использовались фотоэлектронные умножители. Информация, считываемая со сканирующего устройства, преобразовывалась в цифровой код, записываемый на магнитной ленте.

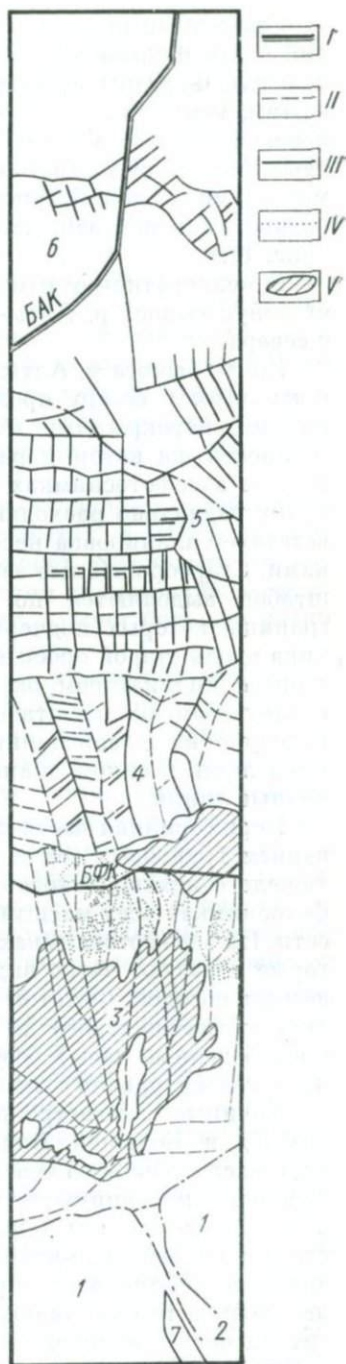
Для контроля качества работы сканирующего устройства на борту самолета был установлен аппарат открытой записи, позволяющий наблюдать изображение на электрохимической бумаге в одном из спектральных диапазонов.

Получение изображений в виде фотоснимков осуществлялось в наземной аппаратуре чтения цифровых видеозаписей. Эта аппаратура может выдавать цветные и черно-белые изображения, а также преобразовывать видеoinформацию к виду, пригодному для ввода в ЭВМ. Дымка на изображениях в сине-зеленой зоне воспринималась системой обработки как постоянный фон в электрическом сигнале и автоматически устранялась (Ходарев и др., 1974).

Использованные нами телевизионные многоспектральные снимки были получены 13 июня 1973 г. в 10 ч 30 мин и 14 июня в 7 ч 30 мин по местному времени. Как уже говорилось, мы располагали еще следующими аэрофотоснимками (контактная печать) на ту же территорию: октябрь 1957 г., 14 ч 50 мин, М 1 : 17 000; май 1970 г., 11 ч 45 мин, М 1 : 35 000; октябрь 1970 г., 14 ч. 50 мин, М 1 : 17 000.

Рис. 1. Антропогенные индикаторы природно-территориальных комплексов, дешифрованные по телевизионным снимкам М 1 : 100 000

I — оросители магистральные; II — оросители более мелких порядков; III — коллекторно-дренажная сеть; IV — полосы тутовников; V — поселки; 1 — адырный ПТК; 2 — выходы плiocеновых отложений; 3 — ПТК конуса выноса р. Алты-Арыкская; 4 — ПТК периферии конуса выноса; 5 — ПТК суглинисто-солончаковой равнины с небольшими массивами песков; 6 — ПТК бугристо-грядовых аллювиальных песков с засоленными и заболоченными понижениями; 7 — долина р. Алты-Арыкская



Съемочный профиль был проложен с юга на север в центральной части Ферганской котловины и пересекал наиболее характерные для Ферганы природно-территориальные комплексы (ПТК): адыры, конус выноса р. Алты-Арыкская, его периферийную часть в зоне выклинивания грунтовых вод, низменную аллювиально-пролювиальную суглинисто-солончаковую равнину с небольшими массивами песков, бугристо-грядовые и бугристо-барханные пески разных степеней закрепления с озерно-болотными понижениями (рис. 1).

В мелиоративном отношении наибольший интерес представляет конус выноса р. Алты-Арыкская и ПТК, примыкающие к нему с севера.

Конус выноса р. Алты-Арыкская (рис. 1, 3) представляет собой наклонную к северу пролювиальную равнину, сложенную галечниками, перекрытыми мелкоземистыми отложениями различной мощности, на которых развиты сероземные и луговые почвы. На теле- и аэрофотоснимках он дешифрируется по характерному рисунку радиально расходящихся саев и оросителей, которому соответствует планировка населенного пункта с садами и виноградниками. Староорошаемые земли конуса выноса на снимках всех масштабов выделяются по сетчатому рисунку небольших полей, границы которых подчеркнуты тутовниками. Насаждения тутовника вдоль старой оросительной сети оказались хорошим антропогенным индикатором окультуренных почв. На аэрофотоснимках вышеуказанных масштабов тутовники дешифрируются удовлетворительно, на телевизионных снимках М 1:100 000 они дешифрируются лишь в синем диапазоне волн, где образуются белые четко видимые линии.

Периферийная часть конуса выноса характеризуется выклиниванием грунтовых вод и распространением лугово-болотных почв тяжелого механического состава. Она выделяется на теле- и аэрофотоснимках всех масштабов по открытой коллекторно-дренажной сети. На аэрофотоснимках эта сеть дешифрируется по отвалам, которые образуют четко видимые цепочки с отсутствием на них древесных посадок. Фототон сети на телевизионных снимках изменяется от светло-серого до темно-серого; ИК-диапазоне (съемка в предобеденные часы) особенно хорошо видны свежекопанные дрены и коллекторы по сливающейся линии высоких отвалов.

Крупные магистральные каналы — Большой Ферганский (БФК) и Большой Андижанский (БАК) на аэрофотоснимках всех масштабов и на телевизионных снимках 4-х имеющихся диапазонов дешифрируются по четким темно-серым линиям. Распределительные каналы дешифрируются на телеснимках только там, где нет коллекторно-дренажной сети. Наименее четко эти каналы видны в ИК-диапазоне при съемке в предобеденные часы, наиболее четко в том же диапазоне при утренней съемке. Местные оросители могут дешифрироваться только на снимках М 1:17 000 под стереоскопом.

Анализ (интерпретация) аэроснимков разного масштаба и времени съемки и телевизионных снимков разных диапазонов позволяет выделить поля с разными культурами. На октябрьских аэрофотоснимках М 1:17 000 поля хлопчатника дешифрируются по темно-серому фототону и полосчатому рисунку, тогда как поля, занятые другими сельскохозяйственными культурами, имели светло-серый фототон и пятнистый рисунок. При съемке в мае (М 1:35 000) хлопчатник имел равномерный светло-серый фототон, другие сельскохозяйственные культуры изображались более темным фототонном. Наиболее четко сельскохозяйственные культуры разделяются на телевизионных снимках во всех 4 диапазонах. Хлопчатник дешифрируется во всех видимых диапазонах по серому фототону разной интенсивности. Кукуруза имеет черный фототон во всех диапазонах и часто не отделяется от люцерны, которая дает фототон от темно-серого до черного в зависимости от возраста и степени засоренности. Сахарная свекла во всех диапазонах дешифрируется по темно-серому фототону.

Градации увлажненности сельскохозяйственных полей хорошо просматриваются на телевизионных снимках в ИК-диапазоне. Снимки разного времени съемки позволяют установить степень увлажнения почвы. Утренние съемки в этом диапазоне более контрастны, чем предобеденные, по-видимому, за счет большей разницы температур почвы и воды в утренние часы.

Далее по профилю выделяется участок низкой аллювиально-пролювиальной суглинисто-солончаковой голодностепной террасы Сырдарьи с небольшими массивами песков, с близкозалегающими грунтовыми водами хлоридно-сульфатного типа минерализации. Почвенный покров представлен луговыми, лугово-болотными почвами тяжелого механического состава и разной степени засоленности, солончаками и песками, подстилаемыми суглинисто-глинистыми и песчано-суглинистыми отложениями (рис. 1, 5). Этот ПТК дешифрируется по неравномерному фототону и пятнистому рисунку, который определяется пестротой почвенно-грунтовых условий. Степень засоления почвы освоенных участков можно определить как по аэрофотоснимкам, так и по телеснимкам пока лишь качественно: при этом светлый фототон, как правило, соответствует большей степени засоления почвы.

Описываемые участки данного ПТК являются районом нового освоения. Сравнение аэрофотоснимков разных лет (1957 и 1970 гг.) позволяет отметить положительные изменения в ландшафте, связанные с освоением его, а именно: окультуривание и расселение значительных площадей, которое проявляется в более однородном рисунке аэрофотоизображения.

К северу от описанного участка расположены массивы бугристо-грядовых аллювиальных песков, слабо разветвленных, с псаммофитно-кустарниковыми сообществами на буграх и комплексами фреатофитной и гигрофитной (влаголюбивой) растительности в понижениях (рис. 1, 6). Дешифрирование современных процессов

на этих участках представляет для мелиорации особый интерес, во-первых, из-за того, что в настоящее время ведется интенсивное освоение этих площадей в связи с постройкой БАК, а во-вторых, из-за большой интенсивности экзогенных процессов, протекающих на этих участках (развевание песков и занос каналов, фильтрация воды из каналов и т. д.) Здесь нами были выделены 8 групп типов фаций, которые образуют 3 ландшафтно-генетических ряда в зависимости от преобладающего действия различных факторов: эоловый, галогенный, гидрогенный.

Преобладающим фактором в эоловом ряду является эоловый фактор (развевание песков). Здесь выделяются фации песков разных стадий закрепления — от хорошо закрепленных до барханных. В галогенном ряду преобладающим является фактор засоления, и дешифрирование аэрофотоматериалов позволяет выделить участки от незасоленных до сильно засоленных и злостных солончаков. Гидрогенный ряд объединяет участки с разной глубиной грунтовых вод, начиная от озерцов и болот, где вода стоит на поверхности, и кончая фациями с глубиной грунтовых вод 2 — 3 м.

Для изучения динамики мелиоративного ландшафта дешифрирование отдельных членов указанных ландшафтно-генетических рядов имеет значение потому, что позволяет сделать заключение о наличии целого ряда процессов: эолового, процесса засоления почвогрунтов (галогенный ряд) и процесса фильтрации воды из каналов и других мелиоративных объектов (гидрогенный ряд).

На аэрофотоснимках М 1:17 000 под стереоскопом отдельные фации — члены этих ландшафтно-генетических рядов, дешифрируются удовлетворительно. На снимках М 1:35 000 хорошо дешифрируются все члены эолового ряда и крайние члены гидрогенного ряда; выделение же фаций галогенного ряда представляет известные трудности. Оконтуривание отдельных фаций на снимках этого масштаба невозможно из-за небольшого размера контуров.

Телеснимки М 1:100 000 не дают возможности выделения отдельных фаций. Однако, как будет видно ниже, отдельные члены этих рядов они позволяют отдешифрировать. Телеснимки в синем диапазоне спектра позволяют сразу разграничить гидрогенный и эоловый ряды. Фации гидрогенного ряда (т. е. участки с близкими грунтовыми водами) получаются черным и темно-серым тоном, резкоконтрастным с светло-серой и белой поверхностью фаций эолового ряда. В названном диапазоне дифференциация изображения внутри этих рядов плохая; этот диапазон можно рекомендовать лишь для разделения названных рядов между собой. Изображения в красной и зеленой зонах спектра близки между собой благодаря особенностям обработки изображения (см. выше). На снимках этих диапазонов изображения отдельных членов гидрогенного ряда различаются с трудом, изображаясь темно-серым и черным тоном. Территориальная интеграция аэрофотозображения приводит к тому, что изображение членов эолового ряда также является обобщенным. Отдельно выделяются лишь барханные

пески, в то время как изображения остальных членов ряда объединяются.

Снимки в ИК-диапазоне дают возможность четко отдешифровать крайний член водного ряда — болотца и озера, который дает в этом диапазоне темно-серый и черный фототон на общем сером фоне. Почти так же четко выделяется на этих снимках крайний член эолового ряда — барханные пески, которые выходят в виде белых пятен характерной полукруглой конфигурации, сливающихся между собой. Таким же белым тоном выходят крупные отвалы дрен, участки нарушенных грунтов вдоль дорог и т. д., т. е. участки, могущие в будущем в условиях песчаных почвогрунтов явиться очагами дефляции.

Таким образом, сравнение телеснимков М 1:100 000 в разных диапазонах спектра с аэрофотоснимками М 1:17 000 и 1:35 000 показало, что несмотря на потерю некоторого количества информации, первые обладают достаточным разрешением и информативностью (при условии применения съемок во всех 4 диапазонах) для того, чтобы отдешифровать на территориях современной прирасселки различные ПТК, и, пользуясь антропогенными индикаторами, — такие почвенно-мелиоративные условия, как степень дренированности и окультуренности почв, а также отдельные элементы мелиоративного ландшафта (оросительную и дренажную сеть, различные сельскохозяйственные культуры и т. д.).

Применение многозональной телесъемки М 1:100 000 позволяет в песчаных ландшафтах, во-первых, оконтуривать участки фильтрации из каналов и орошаемых полей, дополнительно дифференцируя некоторые отдельные члены водного ландшафтно-генетического ряда, а, во-вторых, обнаруживать очаги как существующей (барханы), так и будущей дефляции песков (участки нарушенных грунтов). Принимая во внимание такое преимущество телевизионных материалов, как оперативность, можно с уверенностью сказать, что в ряду экспресс-методов определения отдельных элементов мелиоративного ландшафта, таких, как влажность и засоленность почвы, метод дешифрирования телеснимков заслуживает самого пристального внимания и дальнейшей разработки.

К фототелевизионной аппаратуре приближаются по своей решающей способности современные радиолокаторы. Нами осуществлено дешифрирование радиолокационного снимка типичного мелиоративного объекта, иллюстрирующее возможности этого вида съемки применительно к задачам мелиорации. Дата полета — 30 июля 1974 г., съемка производилась ночью. Объект съемки — мелиоративная система польдерного типа площадью 1800 га, расположенная в пойме р. Пра, в центральной части Мещерской низменности.

Многие природные и мелиоративные признаки объекта в той или иной степени получили свое отражение на радиолокационном снимке. Так, легко определяются границы объекта, просматри-

ваются практически все элементы медиоративной сети: магистральные каналы и осушители, обнаруживается местоположение таких гидротехнических сооружений, как насосная станция и дамба обвалования. Черной извилистой полосой изображается водоприемник осушительной системы — р. Пра и ее притоки.

Здесь следует отметить, что в зависимости от ориентации линейные элементы (каналы, дамбы, дороги) отражены на снимке с различной степенью детальности; элементы, направленные параллельно траектории полета, дешифрируются наиболее четко.

Осушительные каналы выглядят на снимке светлыми линиями с несколько размытыми краями. Устьевая часть магистрального канала, выполняющая функцию водосборного бассейна насосной станции и имеющая достаточно большую площадь водной поверхности, представлена на снимке черной полоской, расположенной рядом со светлой линией канала.

Аналогично выглядят на снимке дороги: на открытой местности светлыми полосами, в лесу — черными в связи с тем, что будучи параллельными направлению полета, они попадают в «тень» лесного массива.

На снимке хорошо отражена степень первичного освоения осушенных площадей. Осушительные карты с посевами первого и второго года характеризуются достаточной однородностью тона изображения.

На осушенных и еще не проходивших культуртехнической обработки участках неправильной конфигурации, представленных среднемоющими и мощными торфяниками, выделяются контраст-

*Расположение сельскохозяйственных культур по фототону по мере возрастания яркости из радиолокационного изображения*

Фототон	Сельскохозяйственные культуры
<p>Черный Темно-серый</p>	<p>Черный пар Травосмесь (тимофеевка + клевер), засоренная гидрофильной растительностью и используемая под выпас Пшеница Травосмесь отава после укоса, среднезасоренная Картофель Морковь</p>
<p>Светло-серый</p>	<p>Овес в стадии выхода в трубку Овес в стадии выметывания Райграс Ячмень в стадии отцветания Рожь в стадии молочной спелости</p>
<p>Почти белый</p>	<p>Пропашные (капуста, турнепс, свекла кормовая)</p>

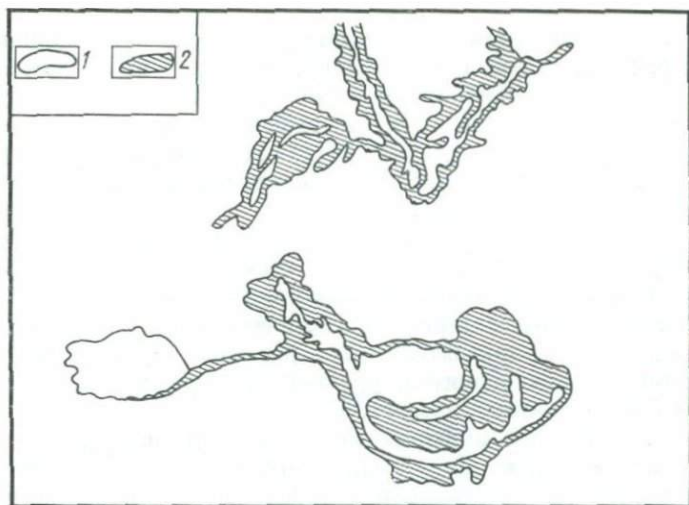


Рис. 2. Схема дешифрирования озер участка Мещерской низменности на радиолокационном снимке

1 — чистая водная поверхность; 2 — участки озер, заросшие полупогруженной или плавающей водной растительностью

ные пятна неправильной конфигурации, соответствующие различной степени увлажнения почв.

В отличие от черно-белых аэрофотоснимков, сельскохозяйственные культуры на радиолокационном снимке имеют значительную большую яркостную дифференциацию (таблица).

Весьма характерными выглядят на снимке лесные массивы; эффект радиолокационной «тени» делает изображения участков леса зрительно объемными, рельефными.

Особого внимания заслуживает вопрос об отображении на радиолокационных снимках растительности на мелководье, а также плавающей и полупогруженной растительности. Тон изображения в этом случае яркий, насыщенный. Так, небольшие озера с заросшими берегами выглядят обведенными сплошной белой каймой; еще выразительнее выглядит растительность заболочиваемых озер (рис. 2). Интересно, что повышенная яркость изображений водной растительности не может быть объяснена элементарной теорией рассеяния радиоволн на шероховатостях. Можно предположить, что причиной повышения интенсивности отражения являются интерференционные явления при отражении радиоволн системой «растения — вода», а также наличие свободной влаги на поверхности растений.

Рассмотренный пример свидетельствует о том, что радиолокационные снимки могут дать большое количество ценной в мелиоративном отношении информации, в частности, информации об особенностях водного режима. Недостатки радиолокационных снимков — несколько пониженная детальность изображения ма-

лоразмерных элементов и линейных элементов, ориентированных перпендикулярно к направлению полета — не являются принципиальными: у наиболее совершенных РЛС с синтезированными антеннами эти недостатки выражены в минимальной степени (Виноградов, Кондратьев, 1971). РЛС могут и должны занять постоянное место в ряду дистанционных средств получения мелиоративной информации.

Изложенное выше является по существу оценкой информативности отдельных видов аэро- и космической съемки для целей мелиорации. Следующим этапом является разработка методов получения по этим материалам количественной оценки отдельных мелиоративных показателей и, в первую очередь, влажности, засоленности почвогрунтов, уровней грунтовых вод, состояния сельскохозяйственных посевов.

Интересную информацию в этом отношении дает измерение спектров отраженного солнечного излучения в целях выяснения зависимости коэффициента отражения от влажности:  $R_\lambda = f(W)$ , где  $R_\lambda$  — коэффициент спектральной яркости почвы;  $W$  — влажность почвы.

Для большинства почв справедлива следующая закономерность этой связи. Степень влажности слабо влияет на формирование структуры спектральной кривой в видимом диапазоне электромагнитного спектра. Вид спектральной кривой обусловлен, в основном, материальным составом почвы: минералогическим составом, содержанием гумуса и т. д. Влияние же влажности сказывается на степени яркости отражения. Наибольший диапазон колебаний спектральных коэффициентов яркости сухой и влажной почвы наблюдается в длинноволновой области спектра (рис. 3).

По мере увеличения влажности почвы от воздушно-сухой до максимальной гигроскопической величина коэффициента отражения изменяется незначительно (рис. 4). В интервале влажности от максимальной гигроскопической до влажности завядания коэффициент отражения монотонно уменьшается. Дальнейшее повышение влажности почвы в интервале от влажности завядания до влажности разрыва капиллярной связи сопровождается снижением величины коэффициента отражения с прежней интенсивностью. В интервале от влажности разрыва капиллярной связи до наименьшей влагоемкости происходит снижение степени отражения, но с меньшей интенсивностью. При влажности, большей наименьшей влагоемкости, величина коэффициента отражения заметно повышается (за редким исключением).

Изложенные материалы получены нами на обнаженной почве; в природных условиях эта связь, благодаря растительности, несколько видоизменяется, но общие закономерности остаются теми же.

Таким образом, спектральные кривые отражения могут быть положены в основу генетической классификации почв при обработке материалов аэро- и космической съемки, а зависимости

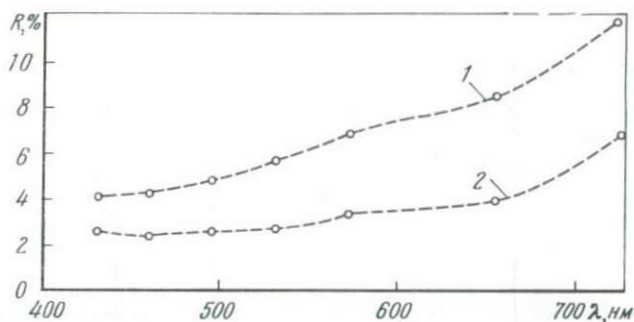
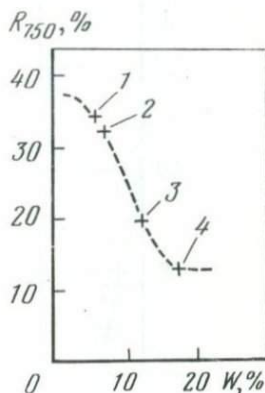


Рис. 3. Спектр отражения почвы (курский чернозем)

1 — до полива; 2 — через день после полива

Рис. 4. Коэффициент отражения серозема в зависимости от влажности

1 — максимальная гигроскопическая влажность; 2 — влажность завядания; 3 — влажность разрыва капиллярной связи; 4 — наименьшая влагоемкость



$R_3=f(W)$  — для количественной оценки степени увлажнения почв, что крайне необходимо при решении многих мелиоративных вопросов: установлении весенних влагозапасов, сроков весенней спелости почвы, назначении поливов и т. д.

К настоящему времени уже накоплен некоторый опыт по изучению спектров отражения полей, занятых различными сельскохозяйственными культурами, для получения информации о состоянии этих культур (Надь, 1974). Эта информация необходима для решения вопросов о внесении удобрений, организации борьбы с болезнями растений, установления сроков уборки и прогнозирования урожая.

Нами были поставлены опыты по изучению спектральных характеристик сельскохозяйственных культур в различные периоды вегетации. При этом учитывалось физиологическое состояние растений, приход солнечной радиации (интегральной, прямой и рассеянной), а также суммарное альbedo, время спектрометрирования и высота солнца. В качестве эталона при спектрометрировании применялся баритовый экран.

Из приведенных данных (рис. 5а) по отражательной способности яровой пшеницы в разные сроки вегетации видно, что изменяются как характер кривой (происходит смещение зеленого максимума в сторону коротких длин волн), так и абсолютные зна-

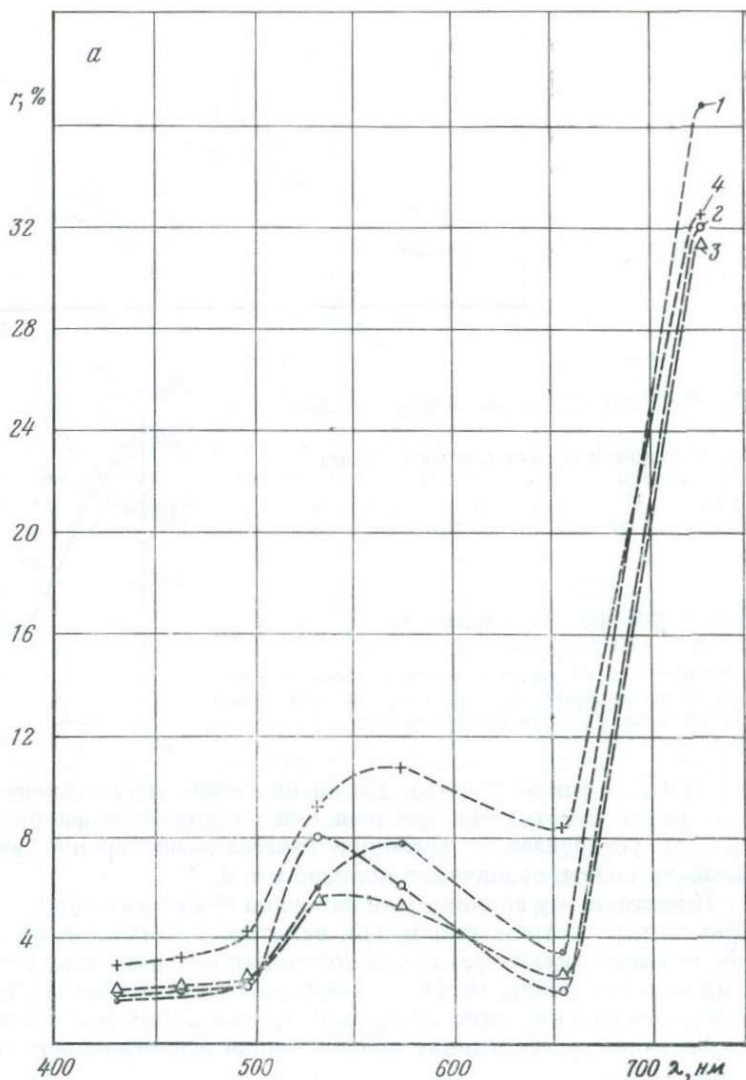
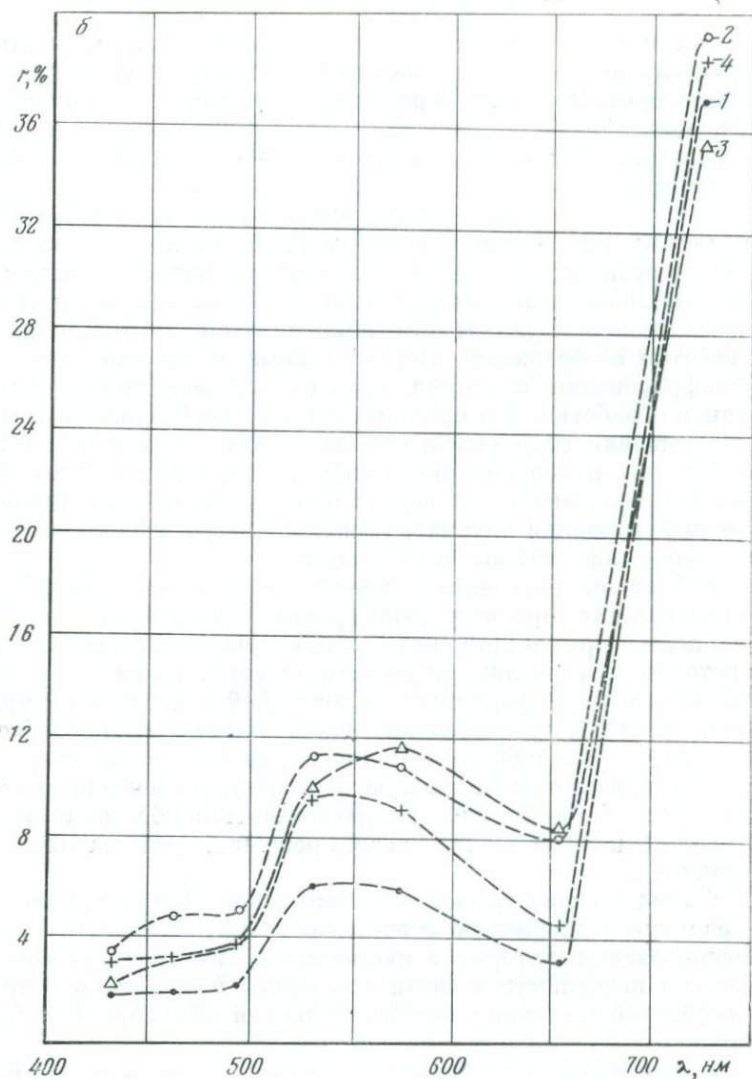


Рис. 5. Спектры отражения

*a* — яровой пшеницы: 1 — роза кушения, 2 — выход в трубку, 3 — цветение, 4 — молочная спелость; *б* — посевов различных культур: 1 — сахарная свекла, 2 — гречиха, 3 — яровая пшеница, 4 — кукуруза

чения спектрального альбеда в зависимости от фазы развития. Подобные результаты были приведены и у Кринова (1947), что дает основание считать возможным определение фазы развития растений с помощью спектрозональной аэрокосмической съемки.

Для обеспечения наземных наблюдений во время проведения съемок с 18-го спутника «Метеор» нами была создана подспутни-



ковая группа, в задачу которой входило проведение наблюдений за состоянием сельскохозяйственных посевов, влажностью и температурой почвы, ландшафтное обследование местности и изучение спектральных характеристик сельскохозяйственных объектов.

Данные, представленные на рис. 56, показали, что величина коэффициентов отражения в диапазоне 450—660 нм, у гречихи почти в 2 раза выше, чем у свеклы, так как гречиха в это время находилась в фазе цветения (цветки белые), что обеспечило увеличение яркости. У пшеницы, которая в это время находилась в фазе молочной спелости, наблюдалось пожелтение посевов, и зеленый

максимум начал сдвигаться к желто-красной области спектра при значительном повышении абсолютных показателей желто-красного минимума. Полученные результаты указывают на принципиальную возможность опознавания сельскохозяйственных культур по их спектральным паспортам при съемке хотя бы в 4 зонах видимого спектра.

Качество реальных материалов, получаемых в результате современных дистанционных наблюдений, является в силу ряда причин недостаточно высоким для целей дешифрирования и может быть повышено в смысле повышения выходного соотношения сигнал/помеха в результате направленной автоматизированной обработки изображения. Перспективные количественные методы дешифрирования являются практически неосуществимыми для ручной обработки. Эти причины, а также необходимость оперативного решения гидромелиоративных задач, связанных с реакцией на быстрые изменения природных условий в сельскохозяйственных районах, являются обоснованием актуальности применения в дешифрировании математических методов и использовании аналоговой и цифровой вычислительной техники.

В ближайшей перспективе представляется невозможной полная автоматизация процесса дешифрирования, поэтому автоматизацию целесообразно применять в форме диалога человек — машина, в котором на вычислительную технику возлагаются задачи первичной обработки информации, включающей в себя редактирование изображения и представление его в максимально удобном для классического дешифрирования виде или считывание количественной информации, и вторичную обработку, включающую алгоритмы статистической обработки, распознавания образов и вынесение рекомендаций для окончательного решения, принимаемого дешифровщиком.

Форма диалога позволяет сколь угодно широко использовать априорную информацию и оперативно корректировать алгоритмы распознавания, которые в настоящее время не могут обеспечить высокой надежности в связи с большим недостатком материалов со свойствами дистанционных изображений объектов дешифрирования.

Решение большого комплекса задач автоматизированного дешифрирования может быть обеспечено путем создания аналого-цифровой оптико-электронной системы обработки информации. Аналоговая техника обладает преимуществами перед цифровой в скорости обработки информации, с другой стороны, логические и точные вычислительные операции могут быть реализованы только на ЦВМ. Кроме того, ЦВМ дает возможность корректировки алгоритмов.

В заключение следует сказать, что в ближайшей перспективе аэро- и космические методы дистанционных измерений могут и должны стать одним из важных средств информационного обеспечения нужд мелиорации в нашей стране.

- Балаев Л. Г., Баркан Л. И., Емельянов В. А.* и др. Возможности применения космических методов дистанционного измерения в почвенно-гидрологических исследованиях.— Экспресс-информация, сер. I, вып. 4. М., ЦБНТИ М-ва мелиор., 1973.
- Вериго С. А., Разумова П. А.* Почвенная влага. Л., Гидрометеоиздат, 1973.
- Виноградов Б. В., Кондратьев К. Я.* Космические методы землеведения. Л., Гидрометеоиздат, 1974.
- Кринов Е. Л.* Спектральная отражательная способность природных образований. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1947.
- Надь Д.* Цифровая обработка изображений, полученных при дистанционных исследованиях природных ресурсов.— В сб. Распознавание образов при помощи цифровых вычислительных машин. М., «Мир», 1974.
- Ходарев Ю. К., Аванесов Г. А., Дунаев В. С.* и др. Использование космических средств для изучения земных ресурсов и контроля окружающей среды. Самолетный эксперимент.— Метеорология и гидрология, 1974, № 4.
- Шабанов В. В.* Биоклиматическое обоснование мелиораций. Л., Гидрометеоиздат, 1973.



А. Н. Цой

## МОДЕЛИ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ И АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Развитие методов исследования природных ресурсов с больших высот открывает новые возможности в решении задач комплексной автоматизации мелиоративных систем. Многими авторами отмечалась характерная особенность этих исследований — глобальный охват пространства за небольшое время. В настоящем сообщении нам хотелось бы подчеркнуть другую особенность аэрокосмической информации — ее усредненный характер.

Обычно при наземных исследованиях мы имеем дело с вполне однозначными физическими параметрами: температурой, влажностью, отражательной способностью и т. д. Полученные значения измеренных параметров считаются характерными для ограниченного объема или площади, в пределах которых они постоянны или подвержены флуктуациям в заданных пределах точности.

При подъеме аэрокосмических приборов на большую высоту исследуемые площади увеличиваются до нескольких тысяч квадратных метров. Главными параметрами исследования являются характеристики взаимодействия электромагнитного поля с объектами в инфракрасной, видимой, сверхвысокочастотной и других частях спектра. При этом резонно поставить вопрос, какие параметры необходимо измерять аэрокосмическими приборами для исследования и управления объектом.

Рассмотрим этот вопрос с точки зрения моделирования мелиоративных систем. В общем случае орошаемого земледелия мелиоративная система включает водосбор, оросительную сеть и сельскохозяйственное поле (Шабанов, 1973). Водосбор состоит из нерегулируемых рек, ставящих задачу краткосрочного оперативного прогнозирования; рек, требующих долгосрочного прогноза; водохранилищ суточного, декадного или сезонного регулирования и т. д. Оросительная система вместе с водосбором служит для влагообеспечения сельскохозяйственного поля, поэтому их можно рассматривать как элемент последнего. Мы предполагаем, что модели элементов действуют внутри измерительно-информационных сис-

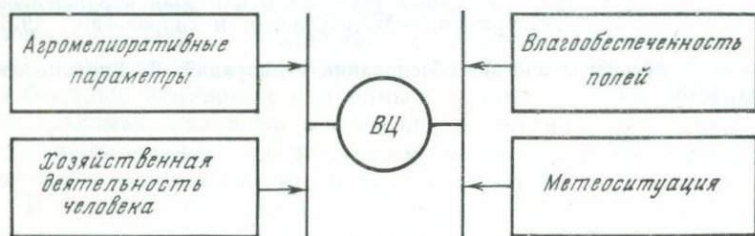


Схема поступления сигналов информационной системы мелиорации в вычислительный центр (ВЦ)

тем, а модель системы обслуживается автоматизированной информационной системой. В этом случае схема обработки поступающих сигналов в информационной системе может быть представлена рисунком. Осведомительная информация от датчиков агромелиоративных параметров и результатов хозяйственной деятельности человека поступает к средствам передачи информации, которые ее трансформируют и передают средствам обработки. Другими источниками информационных потоков являются влагообеспеченность полей и метеоситуация в данное время. Вертикальная черта указывает на возможность первичной сортировки и местной обработки информации по иерархической структуре, практически более целесообразной при моделировании сложных систем (Бусленко, 1968).

Главной задачей информационной системы является решение основной задачи земледелия — увеличение продуктивности сельскохозяйственного поля и постоянное повышение плодородия почвы. Решение этой сложной задачи возможно при учете многочисленных параметров модели. В общем случае измеренное значение параметра  $q(t)$  заданной точки определяет состояние системы  $Q(t)$  равенством

$$Q(t) = \frac{\int q(t)w(r,t) dr}{\int w(r,t) dr},$$

где  $Q(t)$  — средняя характеристика объекта в пространстве  $r$ ;  $w(r, t)$  — функция распределения.

Иначе говоря, однозначное определение состояния системы при наземных исследованиях связано с конкретными точечными измерениями параметров  $q(t)$  и знанием пространственно-временной функции распределения  $w(r, t)$ .

Определение функции  $w(r, t)$  в случае реальных систем представляет значительные трудности и не всегда может быть выполнено. Так, например, в течение ряда лет нами производились периодические измерения влажности почвы термостатно-весовым методом на опытном участке площадью 1 га. В результате этих исследований было показано, что функция  $w(r, t)$ , определяемая из ~200 измерений, по характеру значительно изменяется со временем (на 30–40%). Наблюдаемая при этом весьма слабая корреляционная зависимость между результатами отдельных измерений резко уменьшается с ростом расстояния между точками измерений. Совершенно очевидно, что норма расхода воды и сроки полива в этой ситуации будут зависеть от количества измерений, конкретного участка и других, трудно контролируемых факторов.

Наблюдаемая неоднородность характеристик легко устранима при использовании аэрокосмических методов исследования, которые могут дать относительную характеристику влажности практически со всей площади.

Перечислим еще несколько задач, которые могут быть решены с использованием аэрокосмических методов:

- 1) исследование засоленности почв и уровня грунтовых вод сельскохозяйственного поля;
- 2) контроль переноса влаги облачностью и прогнозирование осадков, проводимое в целях экономии поливной воды;
- 3) прогнозирование стока рек.

В заключение отметим, что возможности аэрокосмических исследований отнюдь не вытесняют методы наземных измерений. Для решения задач осреднения пространственных характеристик и градуировки аэрокосмических приборов необходимо их совместное применение.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. М., «Наука», 1968.  
Шабанов В. В. Биоклиматическое обоснование мелиорации. Л., Гидрометеоиздат, 1973.



## ВОДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РЕШЕНИЯ ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

### ВВЕДЕНИЕ

Перспективы развития гидрологии в связи с выходом человека во внеземное пространство определяются уровнем развития этой науки, ее способностью ставить и решать новые задачи, наиболее эффективно используя современные и предвидимые возможности новой системы изучения природы. В настоящее время появились следующие важнейшие проблемы гидрологии:

1) выяснение процессов эволюции природных вод, приведших к современному их состоянию, как на Земле, так и в космосе;

2) развитие новых методов изучения динамики поверхностных, почвенных и подземных вод в различном фазовом состоянии.

Актуальность первой проблемы очевидна из того особого положения, которое занимает, в отличие от других планет, водная оболочка на Земле, в конечном итоге являющаяся одной из главных условий развития жизни. Основным является установление причин, определяющих соотношение между приходом на поверхность планет влаги из их недр и расходом ее в космическое пространство. Сложность решения этой проблемы заключается не только в том, что здесь имеет место влияние различия в массах планет и их расстояния от Солнца, но, в первую очередь, весьма небольшой, трудно поддающийся даже приближенной оценке процесс прихода воды на поверхность Земли и водообмен с космосом.

Весьма вероятно, что создавшаяся в какой-то период развития Земли возможность появления воды сначала на небольшой ее части способствовала возникновению биосферы, что привело к трансформации газового состава ее атмосферы и образованию «экрана», замедлившего вынос воды в космос и создавшего условия для ее пополнения на земной поверхности.

Создавшаяся в процессе эволюции Земли стратосферная ловушка (связанная с присутствием здесь озона) паров воды, препятствующая их диффузии вверх, представляет весьма тонкий механизм, который возникает в очень ограниченном диапазоне физических условий, так как из всех других планет Солнечной системы в такой форме он, видимо, функционирует только на Земле. Актуальность изучения этого механизма усиливается тем, что при интенсивном вмешательстве человека в жизнь природы не исключена возможность возникновения условий, приводящих к его нарушению.

Получение новых данных о распределении воды и факторов ее образования на планетах, изучение их водообмена будет способствовать решению этой проблемы.

Что же касается второй проблемы, то здесь намечается ряд разделов гидрологической науки, в которых могут использоваться дистанционные методы исследования. К ним, в частности, относятся:

- 1) расчет и прогнозы формирования стока;
- 2) загрязнение водоемов;
- 3) термика водоемов и ледовый покров;
- 4) динамика снежного покрова и ледников;
- 5) влагозапасы атмосферы и почвы;
- 6) уровни подземных вод, выход подземных вод в озера, моря и океаны;
- 7) эрозия почвы и берегов, структура современной и древней речной сети и др.

Даже этот неполный перечень свидетельствует о большом интересе к дистанционным методам исследований. Однако большинство работ, посвященных такого рода исследованиям, в основном носит частный характер или лишь фиксирует особенности того или иного явления на фотоизображениях. В связи с этим теоретический анализ и практическое использование новой информации далеко не соответствует имеющимся возможностям. В настоящее время нет недостатка в общих рассуждениях о пользе дистанционных методов. Однако, в практическом применении успехов значительно меньше, чем следовало бы ожидать. Поэтому в дальнейшем сосредоточим внимание на разработке конкретных методов использования дистанционных наблюдений в наиболее близкой автору области — методике прогнозов и расчетов стока.

В настоящее время имеются возможности создания новой более точной системы прогнозов гидрологических процессов, опирающейся как на логику развития гидрологии, так и на новые способы получения информации. Чтобы более убедительно показать практическую реальность выдвигаемых предложений, автор сознательно, в той мере, в какой это представлялось возможным, избегает дискуссионных вопросов и максимально использует в качестве составных элементов расчетные компоненты тех методов прогноза, которые уже прошли многолетнюю апробацию.

Чем интенсивнее развивается та или иная отрасль науки о природе, тем больше требований она предъявляет постановке новых наблюдений и повышению их точности.

Основные положения настоящей работы могут быть сведены к следующему.

1. Хотя объектами исследований гидрологии суши являются процессы формирования вод на поверхности Земли, главным источником информации были только точечные наблюдения гидрометеостанций, которые из-за ограниченности охвата территории не могут дать достаточно полного представления о динамике изучаемых

процессов. Непосредственные наблюдения за динамикой гидрологических процессов на территории различного масштаба могут существенно улучшить изученность рассматриваемых процессов и точность их расчетов.

2. Общепринятая теория формирования стока в сочетании с некоторыми эмпирическими данными позволяет по материалам наблюдений получить переходные функции от точечных гидрометеорологических наблюдений к стоку. Так называемая генетическая формула стока имеет столь общий характер, что в принципе (с известной модификацией) может быть применима и к новой информации, получаемой по фотоснимкам. Это позволяет широко использовать уже известный аппарат для решения большого круга гидрологических задач с привлечением качественно новой информации.

3. Связь площадей затопления (поверхности бассейна, овражно-балочной и речной сетей) и протяженности сети временных водотоков с гидравлическими характеристиками этих элементов ландшафта, а также стоком воды с них близка к функциональной. Хотя структура этих связей еще не полностью раскрыта, однако, используя обширный опыт решения обратных задач, принципиально можно их установить, опираясь на анализ материалов наблюдений.

4. Различные размеры упомянутых характеристик заполнения поверхности водосборов, а также овражно-балочной, речной сетей позволяют использовать в расчетах, в зависимости от разрешающей способности аппаратуры, тот или иной исходный материал наблюдений. Это придает большую гибкость возможностям использования снимков при условии, что будет разработана система способов прогнозов и расчетов, позволяющая опираться по мере необходимости на те или иные разномасштабные изображения земной поверхности.

5. Сток с поверхности бассейна в конечном итоге представляет собой разность между осадками и потерями стока. Эти элементы, в особенности потери стока, по ряду известных причин определяются весьма грубо, что приводит к большим погрешностям в прогнозах и расчетах. Вместе с тем, получаемые по снимкам площади покрытости поверхности бассейна водой можно представить как следствие трансформации упомянутой разности осадков и стока. Это создает предпосылки для того, чтобы избежать в прогнозах и расчетах столь грубых характеристик и в качестве исходных данных использовать более непосредственные факторы стока. В частности, следует подчеркнуть уникальность такой характеристики как площадь затопления поверхности бассейна, являющейся одновременно показателем питания поверхностных и подземных вод.

6. Изложенное создает принципиальную возможность перестройки современной системы прогнозов и расчетов на другую, логически с ней связанную систему, но использующую новую информацию.

7. Большая значимость новых возможностей прогнозирования

будет стимулировать развитие новых экспериментальных исследований поверхности бассейнов, структуры водопроводящей сети, комплекса гидрологических процессов в них происходящих. Особую роль здесь призваны сыграть экспериментальные полигоны, которые должны предусматривать также наземные наблюдения, наблюдения со стационарных вышек (фотоизображения, радиоактивность Земли и др.), наблюдения с разновысотных самолетов и спутников.

#### МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА СТОКА ПО АЭРОКОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ ПЛОЩАДЕЙ ЗАТОПЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ БАСЕЙНА И РУСЛОВОЙ СЕТИ

Наиболее легко определяются по дистанционным данным характеристики процессов, происходящих на поверхности бассейна (в частности, площади, занятые водной поверхностью). С другой стороны, между площадями затопления и последующим стоком через замыкающий створ реки существует близкая к однозначной связь.

Таким образом, задача исследований прогнозов и расчетов стока дистанционными методами сводится:

- а) к установлению непосредственных зависимостей между площадями покрытия рассматриваемых элементов бассейна водной поверхностью и характеристиками стока;
- б) установлению характерных размеров площадей покрытия водой при тех или иных гидрологических условиях;
- в) определению в соответствии с разрешающей способностью аппаратуры точности измерения этих площадей или их интегральных характеристик.

Первые две задачи целиком относятся к области гидрологических исследований. В последней роль гидрологии сводится к установлению требований к дистанционным исследованиям для решения гидрологических задач с необходимой точностью.

Как будет показано ниже, разнообразие процессов формирования стока и строгая последовательность их развития во времени создают весьма благоприятные предпосылки для широкого использования дистанционных методов.

Действительно, в первой фазе формирования стока после поступления воды на поверхность бассейна сразу же заполняются пониженные и малофильтрующие части бассейна, т. е. на поверхности бассейна образуется сеть проточных и непроточных микроозер. Кривая распределения площадей  $F$  бессточных и сточных микроозер — это малоизменяющаяся во времени функция запасов воды на поверхности бассейна или склонового стока. Общая площадь, покрытая водой, может быть представлена как  $F_{\text{общ}} = f(W)$  или  $F_{\text{общ}} = \varphi(q_{\text{скл}})$ .

Размеры и площади отдельных микроозер зависят от постоянных физико-географических условий (в первую очередь уклона)

и переменных во времени условий стокообразования. Чем меньше размеры микроозер, тем их больше. Диапазон колебаний размеров микроозер очень велик: от долей до сотен квадратных метров и даже нескольких квадратных километров. При больших паводках размеры микроозер увеличиваются.

Площади покрытия поверхности бассейна микроозерами, измеренные дистанционно, могут характеризовать:

а) общую для бассейна площадь микроозер, размеры которых превышают разрешающую способность аппаратуры;

б) изменения отражательной способности за счет изменений общей площади зеркала воды микроозер.

Для отработки методики решения этих задач необходимо сочетание наземных и дистанционных наблюдений. В частности, заметим, что так как наполнение микроозер происходит синхронно и зависит от одних и тех же причин, то между общей площадью бассейна, покрытой водой, и площадью наиболее крупных затоплений должна быть тесная связь, конечно индивидуальная, для каждого бассейна.

Следует отметить, что чем меньше уклоны бассейна и чем больше интенсивность стока, тем размеры покрытых водой площадей бассейна будут больше. Отсюда следует, что наиболее благоприятные условия для прогноза стока при таком подходе имеются для высоких паводков равнинных бассейнов.

Одной из основных сложностей определения изменения во времени площадей покрытости бассейна водой является кратковременность этого процесса, который нередко измеряется часами или сутками, что требует соответствующей частоты измерений.

При частоте измерений природных ресурсов со спутников около 2 раз в месяц нельзя проследить динамику площадей покрытия поверхности водосбора водой. Данные этих спутников можно использовать для оценки динамики влажности почвы, которая меняется значительно медленнее. Для решения многих гидрологических задач частота измерений со спутника в отдельные фазы гидрологического режима должна быть такой же, как и с метеорологического спутника, а в некоторых случаях и большей.

Вторая фаза формирования стока заключается в поступлении воды в лощины и суходолы. В период паводков в суходолах формируются довольно значительные водные потоки, так как площадь водосбора суходолов обычно составляет 5—10 км<sup>2</sup> при сильной расчлененности рельефа и до 20—25 км<sup>2</sup> при слабо расчлененном рельефе. Процесс формирования стока является здесь более продолжительным, чем со склонов. Следует отметить, что переход от одной фазы стока к другой растягивается на некоторое время.

Следующей фазой является последовательное формирование стока рек первого, второго и более высоких порядков. Исследованию структуры речной сети посвящен ряд работ. Будем считать

самый малый водоток, который не имеет притока, рекой первого порядка, реку, образующуюся в результате слияния двух рек первого порядка — рекой второго порядка и т. д.

Р. Хортоном были установлены следующие закономерности:

$$N_{\theta} = E_N^{\varphi - \theta},$$

$$\bar{L}_{\theta} = \bar{L}_1 E_L E^{\theta - 1};$$

здесь:  $N_{\theta}$  — число притоков  $\theta$  порядка в данном бассейне,  $\varphi$  — порядок главной реки,  $E_N$  — параметр, меняющийся от 2 при плоском рельефе до 4 в горных районах,  $\bar{L}_{\theta}$  — средняя длина притоков каждого порядка,  $L_1$  — параметр,  $E_L$  — параметр со средним значением 2 — 3.

Следует подчеркнуть значение масштаба карт. Так, водотоки, имеющие первый порядок на карте М 1:10 000 000, на карте М 1:100 000 имеют уже 3—4 порядок. Средняя длина притока 1-го порядка для европейской части СССР по карте М 1:1 000 000 составляет 5 км, а по карте М 1:25 000 — всего 0,6 км.

Распределение рек различного порядка имеет общие черты для различных территорий.

В зависимости от разрешающей способности дистанционных измерений в качестве исходных элементов, для которых определяется площадь зеркала реки, должны браться реки тех или иных порядков, а следовательно, и различные по своим показателям и размерам характеристики поверхностного стока. Действительно, как упоминалось выше, для характеристик склонового стока могут приниматься или площади затоплений поверхности бассейна при размерах микроозер, превышающих разрешающую способность аппаратуры, или отражательная способность всей поверхности бассейна при покрытии поверхности бассейна мелкими микроозерами. Заполнение овражно-балочной и русловой сети характеризуется площадью русловых и пойменных затоплений.

Следует иметь в виду, что дешифрированные космические снимки уже сейчас с успехом применяются для получения морфометрических характеристик и оценки режима рек. Проведенное по ряду районов эталонное дешифрирование космических снимков показывает, что на них практически отражается вся речная и озерная сеть. При этом хорошая обзорность снимков позволяет изучить строение сети в целом.

Постоянные реки на этих снимках просматриваются даже при незначительных размерах (менее 10 км), русло отчетливо отражается во всех деталях. На космических снимках уверенно опознаются временные водотоки, имеющие вид светло-серых вытянутых, иногда извилистых полос. Значительно подробнее, чем на крупномасштабных картах, выделяются границы пойм рек, отмеченные общим потемнением тона. Поэтому (особенно при катаст-

рофических наводнениях, характеризующихся большими разливами) использование космической и самолетной съемки может способствовать довольно высокой точности прогнозов.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПРОГНОЗ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ПО ПЛОЩАДИ ПОКРЫТИЯ ПОВЕРХНОСТИ БАСЕЙНА ВОДОЙ

Между величиной поверхностного притока воды в речную сеть  $q$  и объемом воды  $W$ , находящейся на поверхности бассейна, существует близкая к функциональной связь:

$$q=f(W), \quad (1)$$

с другой стороны, между площадью покрытой водой поверхности бассейна  $\omega$  и  $W$  также имеется связь:

$$W=\varphi(\omega); \quad (2)$$

отсюда

$$q=\psi(\omega). \quad (3)$$

Таким образом, для определения притока поверхностных вод в речную сеть нужно решить две задачи: определение доли площади бассейна, покрытой водой, и раскрытия формы связи между этой величиной и притоком воды в речную сеть.

Первая часть задачи решается аэрокосмическими методами или непосредственным определением площади, покрытой водой, или по средней отражательной способности поверхности бассейна. В последнем случае используются предварительно установленные связи между этими изменениями и степенью покрытости площади бассейна водой.

Весьма перспективным для будущих исследований может оказаться определение и прогноз поверхностного стока по площадям различной степени увлажненности почв. В настоящее время уже разработаны методики определения запасов воды в верхнем слое почвы при помощи гамма-съемки по самолетным наблюдениям.

Суждения о влажности почвы могут быть сделаны также по спутниковым изображениям в видимом диапазоне, причем для изучения регионального поля влажности достаточно даже сравнительно низких пространственных разрешений, которые обеспечиваются элементом разрешения телевизионных изображений порядка 1 км. Показано, что существует весьма хорошая корреляция между альбедо почв различного увлажнения и плотностью негативного изображения, что позволяет определять влажность почвы по интенсивности сигнала телевизионного изображения.

Обнадеживающими для изучения дождевого паводка по спутниковым данным являются примеры уточнения контуров выпадения осадков и границ увлажнения почв по цветным фотографиям, полученным с «Джемини-4» (США).

Новые возможности для определения количественных характеристик влажности почвы открываются при использовании методов пассивной радиолокации в сантиметровом диапазоне. По данным измерений микроволнового излучения на длинах волн 3,4 и 8,5 см установлено уменьшение радиояркой температуры с увеличением влажности грунта, имеющее линейный характер. В последнее время появился ряд работ, в которых делаются попытки количественного определения влажности при помощи решения обратных задач нахождения физических параметров почвы по полю ее теплового излучения.

Наибольший интерес для целей гидрологического прогнозирования может представить оценка распределения количества воды в почве по глубине по данным измерения радиоярких температур на длинах волн 0,81, 2,2, 6,0 и 21,4 см.

Вторая часть задачи может быть решена двумя путями и их сочетанием: первый из них заключается в теоретико-экспериментальном обосновании форм связи  $q = \psi(\omega)$ , второй опирается на решение обратной задачи — по наблюдениям за  $\omega$  и  $q$  устанавливается  $\omega(q)$ . Для решения задачи первым путем, казалось, можно было бы использовать теоретические построения для расчетов склонового стока, однако они в подавляющем большинстве случаев основываются на концепции сплошного склонового стока. Такой подход является полезным для некоторых расчетных схем, но в данном случае он совершенно неприменим, так как решение в рассматриваемом методе основывается именно на условиях имеющего место в природе неполного покрытия бассейна водой.

Поэтому большое значение приобретает развитие теории, учитывающей несплошность формирования поверхностного стока и экспериментальное изучение строения поверхности бассейна и связанные с этим условия стока. Здесь в первую очередь важно выявить форму связи  $q = \psi(\omega)$ , некоторое значение также имеет установление кривой распределения емкости бессточных впадин, входящих как один из важных моментов в теоретическое построение. Рассмотрим сначала последнее.

Если представить себе склон с уклоном  $i$ , на котором имеется ряд лимитирующих сток углублений, то объем впадин на единицу ширины склона будет равен

$$W_k = \frac{H_k^2}{2i} \quad (4)$$

Из (4) имеем

$$H = \sqrt{2iW} \quad (5)$$

Если нам известна кривая распределения  $f(H)$ , то соответствующая ей кривая распределения объемов выражается соотношением

$$\varphi(W) = \frac{i}{H} f(H) \quad (6)$$

Отсюда видно, что даже при наличии близкой к симметричной нормальной кривой распределения глубин слоя воды  $f(H)$ , кривая распределения емкостей  $\varphi(W)$  будет резко асимметрична. С другой стороны, ясно, что при прочих равных условиях площадь, занятая водой, будет тем больше, чем меньше уклон. Можно предположить, что в ряде случаев закономерности, отмеченные выше, будут до некоторой степени справедливы и для объемов воды при переливе через отдельные возвышенности, так как слой переливающейся воды может быть значительно меньше  $H$ . Что же касается кривых распределения площадей  $\omega$ , то они по своему характеру аналогичны кривым распределения  $H$ , так как площадь, приходящаяся на единицу ширины, равна:

$$\omega = \frac{H}{i}. \quad (7)$$

Общий приток воды в речную сеть может быть приближенно выражен соотношением

$$q = cS\bar{H}^{1+2/i}i^{0.5}, \quad (8)$$

где  $c$  — параметр, связанный с коэффициентом Шези,  $H$  — средняя глубина потока вблизи русловой сети,  $S$  — длина склона вдоль береговой линии.

Была сделана попытка установить характер связи между  $q$  и  $W$ . Для этой цели в случае постоянной интенсивности выпадения осадков  $i_x$  вычислялось впитывание воды по формуле

$$V_x = K + \frac{A}{\sqrt{t}}. \quad (9)$$

Параметр  $K$  устанавливался по интенсивности впитывания при длительном дождевании, когда уже происходила стабилизация расхода воды. Параметр  $A_{\max}$  определялся из условия

$$\int_0^{t_{\max}} q dt = \int_0^{t_{\max}} (i_x - V_x) dt = \int_0^{t_{\max}} (i_x - \frac{A}{\sqrt{t}} - K) dt, \quad (10)$$

где  $t_{\max}$  — время от начала дождя до конца паводка.

Величина текущих объемов  $W_t$  воды на поверхности склоновой площадки после установления параметров  $A$  и  $K$  определялась по соотношению:

$$W_t = \int_0^t (i_x - y - \frac{A}{\sqrt{t}} - K) dt, \quad (11)$$

где  $y$  — сток в единицу времени.

Сопоставление полученных объемов при их осреднении по времени добегаания  $\tau$  от верховьев склона до сливного лотка показало

наличие тесной линейной связи между  $q$  и  $\bar{W}$ . Целесообразность введения осреднения  $W\tau$  вполне понятна, так как расход воды согласно генетической формуле стока состоит из объемов воды, поступивших в различное время на поверхность бассейна, что более точно отражается уравнением (12)

$$q = \int_0^{\tau_{\max}} f(\tau) \varphi(W_{t-\tau}) dt, \quad (12)$$

где  $f(\tau)$  — функция влияния (кривая добегания). Это также вытекает из известной последовательности во времени наступления осадков,  $x$ , притока  $q$ , объема воды  $W$  и стока  $Q$ .

Действительно, даже малая площадь представляет собой огромную серию микробассейнов с некоторой аккумулирующей емкостью, приток которой и создает основную массу объемов воды, посредством которых формируется сток воды к сливному лотку. Т. е. здесь мы как бы в микромасштабе имеем процесс, аналогичный происходящему в последующем во всей речной сети. Близкая к линейной связь между объемами воды на склоне и расходом воды с него, вероятно, в значительной мере определяется близкими показателями степени в формулах (4) и (8). Так как между объемами воды и площадями покрытия бассейна водой связь нелинейная, то, вероятно, и связь притока воды  $q$  с площадью покрытия бассейна имеет вид

$$q = A\omega^n, \quad (13)$$

где  $n > 1$ .

Мы сейчас вынуждены прибегать к некоторым гипотетическим выводам, потому что, несмотря на огромную важность, для практики и развития теории формирования стока сведений о площадях покрытия водой и объемах воды, мы фактически не имеем сейчас данных этих наблюдений. Необходимо проведение на имеющихся стоковых площадках и в поле серии экспериментов, позволяющих осветить эти важные стороны процессов стока. Большую роль здесь, наряду с наземными изменениями, должно играть также систематическое фотографирование стокообразования на элементарных бассейнах с некоторой высоты. Впредь до накопления этих данных мы вынуждены ограничиваться некоторыми приближенными решениями. Как показал опыт гидрологических прогнозов, наиболее эффективные результаты можно получить путем решения обратных задач. В интересующем нас случае эти задачи по существу сводятся к следующему:

а) определению по площади покрытия поверхности бассейна притока воды в речную сеть;

б) определению по вычисленному притоку кривой добегания и стока в замыкающем створе.

Используя существующие представления об условиях формирования стока данные о площадях покрытия бассейна и стоке,

а также опыт, накопленный в гидрологических прогнозах, можно решить эти задачи.

Действительно, пусть мы имеем серии наблюдений о динамике площадей покрытия водой и серию соответствующих данных о стоке паводков. Положим, что связь между  $q$  и  $\omega$  можно выразить такими формулами

$$q = A\omega^n \quad (13)$$

или

$$q = a\omega + b\omega^2.$$

Используем очевидное условие, что

$$\Sigma q = \Sigma Q, \quad (15)$$

где  $Q$  — ежедневные расходы воды,

$$A\Sigma\omega_i^n = \Sigma Q_i \quad (16)$$

или

$$a\Sigma\omega_i + b\Sigma\omega_i^2 = \Sigma Q_i.$$

Задаваясь в первом случае наиболее вероятными значениями параметра  $n$ , вычисляем  $\Sigma\omega^n$ . Затем между этими величинами и объемами паводков строим зависимость. В качестве расчетного принимается тот параметр  $n$  и соответственно  $A$ , которые дают наилучшие результаты. Технически несколько удобнее пользоваться формулой (14). Вычисляем для каждого паводка их объемы, а также  $\Sigma\omega$  и  $\Sigma\omega^2$ . Строим зависимость

$$\Sigma Q = f(\Sigma\omega, \Sigma\omega^2), \quad (17)$$

по которой определяем параметры  $a$  и  $b$ .

Вторая задача расчетов (прогнозов) расходов сводится к вычислению по генетической формуле стока:

$$Q(t) = \int_0^{t=\tau_{\max}} f(\tau) q_{t-\tau} d\tau \quad (18)$$

или

$$Q(t) = a \int_0^{t=\tau_{\max}} f(\tau) \omega dt + b \int_0^t f(\tau) \omega^2 dt. \quad (19)$$

Обычно наиболее распространенными являются следующие формулы для расчета кривых добегания:

$$f(\tau) = \frac{1}{\tau(n-1)!} \left(\frac{1}{\tau}\right)^{n-1} l^{-\frac{1}{\tau}}, \quad (20)$$

$$f(\tau) = a_1 \sin \frac{\pi\tau}{\tau_{\max}} + b_1 \sin \frac{2\pi\tau}{\tau_{\max}}. \quad (21)$$

Подставляя вычисленные значения  $q$  в (18), можем уже хорошо разработанными в гидрологии способами, в частности путем применения специализированных моделирующих устройств, легко определить кривую добега и рассчитать расходы воды. Задача для прогнозов стока с неизученных бассейнов сводится к установлению параметров  $n$  и  $\tau$  связи  $q = \psi(\omega)$  на основе обобщения результатов наблюдений по ряду изученных бассейнов и последующему переносу этих зависимостей на неизученные.

Следует отметить, что во многих районах зоны избыточного увлажнения, где почвы обладают высокой инфильтрационной способностью, наблюдаются весьма специфические особенности формирования поверхностного стока. В этих условиях обычно сток формируется после выхода подземных вод на дневную поверхность и заполнения ими микроуглублений. Для таких условий предоставляется возможным провести простое, но точное решение задачи о прогнозе (расчете) паводка.

Действительно, здесь сток (за вычетом пренебрежимо малых потерь на испарение во время дождя) численно равен стоку с территорий, покрытых водой:  $y = \omega i_x$ , а коэффициент стока  $\eta = \frac{\omega}{\omega_{\text{общ}}} i_x$  где  $y$  — слой стока в единицу времени,  $i_x$  — интенсивность дождя,  $\omega$ ,  $\omega_{\text{общ}}$  — соответственно площадь, покрытая водой, и общая площадь водосбора.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПРОГНОЗ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ПО ПЛОЩАДИ ЗЕРКАЛА РУСЛОВОЙ СЕТИ

Свыше 90—95% всего стока формируется путем его последовательного поступления через овражно-балочную сеть и речную сеть до главной реки. Величина стока в русло главных и больших рек непосредственно с их склонов пренебрежимо мала.

Поэтому, если бы мы имели некоторые контролирующие участки, позволяющие определить расходы перед поступлением стока из балок в речную сеть, то могли бы с заблаговременностью, соответствующей времени добега от устья балок до замыкающего створа реки, рассчитать сток последней. Однако непосредственное определение расходов воды в этих притоках вызывает большие затруднения. Поэтому целесообразно определить среднее значение ширины этих притоков на некотором их протяжении перед впадением в последующие притоки. Известно, что между средней шириной каждого из этих притоков и его индивидуальным расходом существует близкая к однозначной связь. Это дает нам предпосылки сгруппировать ряд притоков по близости их ширины и затем считать справедливым соотношение:

$$q = f(\bar{B}_1, \bar{B}_2, \dots, \bar{B}_n), \quad (22)$$

где  $q$  — расход воды рассматриваемой категории притоков,  $\bar{B}_1, \bar{B}_2, \dots, \bar{B}_n$  — соответственно средние ширины на некоторой длине выделенных притоков.

С другой стороны, как известно, расход в замыкающем створе может быть выражен формулой:

$$Q(t) = \int_0^{t=\tau_{\max}} q_{t-\tau} p(\tau) d\tau. \quad (23)$$

Здесь  $q_{(t-\tau)}$  — суммарные расходы воды притоков рассматриваемой категории,  $p\tau$  — кривая добегания воды от рассматриваемых притоков до замыкающего створа.

Таким образом, задача сводится к раскрытию функции  $q(\bar{B}_1, \bar{B}_2, \dots, \bar{B}_n)$ , определению кривой добегания и последующему интегрированию полученных соотношений. Наиболее сложной зависимостью является определение  $q(\bar{B}_1, \bar{B}_2, \dots, \bar{B}_n)$ .

Значительную помощь в раскрытии последней функции может оказать знание гидроморфометрической зависимости, изучению которой в гидрологии уделяется значительное внимание. Так, по одним данным

$$\bar{B} = 5,6 \left( \frac{\bar{Q}}{\sqrt{qi}} \right)^{2/3}, \quad (24)$$

по другим, с учетом обработки большего количества материалов наблюдений, имеем:

$$\bar{B} = 6,75 Q^{-0,57} K^{0,43} i^{-0,07}, \quad (25)$$

в этих формулах  $q$  — расход воды притоков,  $i$  — уклон.

В общем виде для того или иного района расход воды притоков может быть аппроксимирован в виде:

$$q = A \bar{B}^n,$$

где показатель степени в первом приближении  $n \approx 2$  (это выражение в случае необходимости должно уточняться). Тогда приток воды может быть определен по соотношению:

$$q = A \Sigma \bar{B}^2 \quad (27)$$

или

$$q = A \Sigma B^n. \quad (28)$$

Подставляя эти значения в (23), получим

$$Q(t) = A \int_0^t \Sigma \bar{B}_{t-\tau}^2 p(\tau) d\tau \quad (29)$$

или

$$Q(t) = A \int_0^t \Sigma \bar{B}_{t-\tau}^n p(\tau) d\tau. \quad (30)$$

Сначала проверяем возможность расчета по соотношению (29) обычными методами и в случае необходимости применяем корректировку путем подбора параметров, наилучшим образом отвечающих исходным данным о стоке по формуле (30).

Весьма существенным при таком подходе является то обстоятельство, что предлагаемый метод в настоящее время может быть проверен с оценкой его точности по имеющимся материалам наблюдений. Действительно, если рассмотреть бассейн с достаточно густой сетью гидрометрических станций, то по имеющимся уровням воды и связи их с шириной реки сможем определить  $\Sigma \bar{B}$  и  $\Sigma \bar{B}^n$ .

Имея в качестве входной функции  $\Sigma \bar{B}^2(t)$  и  $\Sigma \bar{B}^n(t)$ , а в качестве выходной функции расходы воды  $Q(t)$  и используя специализированные моделирующие устройства, можно рассчитать кривую добега и оценить точность прогнозов. Весьма интересным и принципиально важным и новым показателем, удобным для дистанционного дешифрирования, могут стать данные о длине и количестве временных водотоков в период образования паводков. Исследование динамики временной речной сети представляет самостоятельную интересную задачу.

С другой стороны, в связи с тем, что общая протяженность временных водотоков  $\Sigma l$ , образующихся на поверхности бассейна, является функцией притока  $\Sigma l = \varphi(q)$ , эта суммарная характеристика может быть использована и для прогнозов стока с бассейна. Преимущественное использование этой характеристики связано с тем, что линейные объекты более легко и точно дешифрируются на фотоснимках того или иного масштаба. В настоящее время, однако, неизвестны исследования, раскрывающие структуру связи между притоком воды с длиной временной речной сети.

Но мы в конечном итоге можем иметь в качестве входной функции  $\Sigma l(t)$ , а в качестве выходной функции расходы воды в замыкающем створе  $Q(t)$ .

Тогда задача прогноза стока сведется к определению

$$Q(t) = \int_0^t \varphi(\Sigma l)_{t-\tau} f(\tau) d\tau. \quad (31)$$

Использование изменений не только временных водотоков, но и рисунка речной сети (ее протяженности) для оценки стока является весьма перспективным, так как по мере увеличения водности протяженность улавливаемых на снимках участков речной сети (при прочих равных условиях) должна существенно увеличиваться. Поэтому индикационные свойства речной сети могут быть полезными для оценки водности. В частности, следует отметить, что даже после прохождения паводков по затемнению долин рек могут быть установлены максимальные разливы и соответствующий им сток.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РУСЛОВЫХ ЗАПАСОВ  
И ПРОГНОЗ ОБЪЕМА СТОКА  
ПО ПЛОЩАДИ ЗЕРКАЛА РУСЛОВОЙ СЕТИ

Методика прогноза по русловым запасам в настоящее время хорошо разработана, однако при ее практическом применении встречается ряд затруднений, связанных как с недостаточным количеством материалов по морфометрии русел, так и со сравнительно редкой для решения этой задачи сетью гидрометеорологических станций.

После выпадения дождя в первую очередь увеличиваются объемы воды в мелкой речной сети, затем уже в средней и крупной речной сети. Через некоторое сравнительно непродолжительное время основная масса воды сосредоточивается в крупной и частично средней речной сети. Применяя наблюдения со спутников или самолетов, представляется возможным определить динамику площади водного зеркала малых  $\omega_1(t)$ , средних  $\omega_2(t)$  и крупных  $\omega_3(t)$  рек.

Между объемами воды  $W$  и площадью зеркала воды существует довольно тесная связь. Далее нам известно, что сток воды  $\Sigma Q$  за время, близкое периоду опорожнения всей или рассматриваемой части речной сети и соответствующее периоду заблаговременности прогнозов  $\tau$ , определяется в основном русловыми запасами.

Действительно,

$$\sum_0^t Q = W_0 + \Sigma q,$$

где  $W_0$  — начальный запас воды в речной сети,  $\Sigma q$  — дополнительный сток через замыкающий створ от последующих дождей.

Запасы воды определяются формулой:

$$W_0 = \sum_0^t Q - \Sigma q.$$

Исключив величину дополнительного притока обычными для гидрологии методами, получим ряд значений  $W_0$ . Далее, для периодов времени, когда вода в основном находится в крупной и средней русловой сети, строим зависимости:

$$W_0 = f\left(\omega_3, \frac{\omega_2}{\omega_3}\right). \quad (33)$$

Кстати, отметим, что в связи со значительной коррелятивной связанностью  $\omega_3$  и  $\omega_2$ , представленная выше форма связи более удобна, чем  $W_0(\omega_3, \omega_2)$ .

Для периодов времени, когда значительная часть воды находится в руслах малых рек ( $\omega_1$ ), строим расчетную зависимость в

виде

$$W_0 = f(W_{\text{выч}}, \omega_1). \quad (34)$$

Здесь  $W_{\text{выч}}$  рассчитывается по соотношению (33). Переход к систематической информации о площадях водного зеркала рек различной категории создает предпосылки для существенного уточнения прогнозов объемов стока.

Следует отметить, что так как между площадью зеркала и объемом воды во многих случаях связь может не сильно отличаться от линейной, возможно будет прийти к более простым соотношениям  $W = f(\Sigma\omega)$  и  $\Sigma Q = \varphi(\Sigma\omega)$ , где  $\Sigma\omega$  представляет собой суммарную площадь рек всех категорий. Учет дополнительного притока  $\Sigma q$  производится обычными методами.

### ПРОГНОЗ И РАСЧЕТ ПОДЗЕМНОГО СТОКА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ПОКРЫТОСТИ БАССЕЙНА ВОДОЙ И ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

В случае выпадения осадков в течение длительного периода времени расходы воды, вытекающей из колонки почвы в водоносные горизонты, по теоретическим расчетам выходят на насыщение. Тогда как при отсутствии притока воды в водоносные горизонты уровень подземных вод и соответственно подземный сток снижаются по экспоненциальному закону.

Количество притекающей воды в водоносный пласт

$$q = \mu \frac{dH}{dt} + \mu \frac{dH_1}{dt}. \quad (35)$$

Здесь  $q$  — приток воды за время  $dt$ ,  $dH$  — приращение уровня воды водоносного пласта за время  $dt$ ,  $dH_1$  — приращение уровня воды, рассчитанное по кривой спада и взятое с обратным знаком,  $\mu$  — эмпирический коэффициент, представляющий изменение количества воды в порах при колебании свободной поверхности, относительно к объему грунта. В супесчаных грунтах  $\mu = 0,1-0,15$ , а в суглинках  $\mu = 0,01-0,10$ .

Расход воды в источниках, гидравлически не связанных с уровнем реки, является функцией уровня подземных вод. Действительно, для случая, когда можно пренебречь испарением подземных вод, их расходование в период отсутствия притока в водоносные горизонты можно выразить соотношением:

$$\frac{dW}{dt} = \mu \frac{dH_1}{dt} = Q, \quad (36)$$

где  $Q$  — расход воды источника, отнесенный к единице площади водоносного пласта,  $W$  — переменный запас воды в водоносных пластах.

Несколько сложнее решается задача пополнения запасов подземных вод. Однако обычно за короткие периоды времени питания водоносного горизонта положительное значение изменения уровня пренебрежимо мало по сравнению с глубиной водоносного горизонта и поэтому не может существенно изменить динамические характеристики потока. В связи с этим средний расход воды источников за время рассматриваемого повышения уровня воды можно считать по типовой кривой истощения, непрерывно трансформирующейся в результате притока воды и подземного стока.

Если известна величина притока воды  $q$ , то, пользуясь балансовым методом и кривой спада расходов воды источника, можно рассчитать и ход расхода воды источника по кривым объемов. Действительно, объем воды водоносного горизонта, питающего источник, над некоторым уровнем воды, соответствующим какому-то произвольно взятому наинижнему возможному расходу воды, будет равен:

$$W - W_{\min} = \int_{Q_{\min}}^Q Q(t) dt; \quad (37)$$

здесь  $\int_{Q_{\min}}^Q Q(t) dt$  — площадь, ограниченная кривой спада в интервале  $Q$  и  $Q_{\min}$ .

Зная расходы воды и соответствующий объем  $W - W_{\min}$ , можно рассчитать кривую объемов  $W - W_{\min} = f(Q)$ .

Ведя расчет по коротким интервалам времени, можно рассчитать текущие объемы и соответствующие им расходы воды, так как кривая спада  $Q(t) = f(Q_{\text{нач}})$  может быть легко трансформирована в кривую  $Q_t = f(W_t)$  или  $Q_t = f(W - W_{\min})$ .

Необходимые для таких расчетов объемы воды будем получать по соотношению

$$W_{t+\Delta t} = W_t + (\bar{q}_{\text{np}} - \bar{Q}_t) \Delta t; \quad (38)$$

здесь  $W_{t+\Delta t}$ ,  $W_t$  — соответственно объемы воды в моменты времени  $t + \Delta t$  и  $t$ ,  $q_{\text{np}}$ ,  $Q_t$  — соответственно приток воды в водоносные пласты и расход источника за время  $\Delta t$  по кривой спада.

Расчеты подземного стока осложняются необходимостью учета его взаимодействия с поверхностным стоком и учета времени стекания подземных вод по русловой сети. Однако и здесь мы имеем некоторые обстоятельства, облегчающие условия расчета.

Действительно, в течение паводка или половодья успевает закончиться период изъятия и пополнения подземного стока, причем по своим размерам эти две величины близки между собой. Поэтому представляется целесообразным рассчитывать тот подземный сток, который имел бы место при отсутствии возмущающего влияния паводков, рассматривая учет роли последних как самостоятельную задачу.

Что же касается времени добегания, то его можно определить, применяя хорошо разработанные в гидрологии методы изохрон,

кривых добегания и т. д. Более того, учитывая значительно меньшую, чем в поверхностном стоке, изменчивость подземного стока рек, последний без больших погрешностей можно в ряде случаев считать равным средней величине притока в речную сеть за время руслового добегания.

К расчетам подземного стока в принципе можно применить такой же подход, как и к поверхностному, т. е. вести расчет по формуле Дюамеля

$$Q(t) = \int_0^{t=\tau_{\max}} q_{(t-\tau)} p(\tau) d\tau. \quad (39)$$

Здесь кривая добегания  $p(\tau)$  могла бы рассматриваться, исходя из анализа сочетания кривых спада подземного стока и кривой добегания по русловой сети. При более упрощенном решении

$$Q(t) = \int_0^{t=\tau_{\max}} \bar{q}_{(t-\tau)} P_1(\tau) d\tau; \quad (40)$$

здесь  $\bar{q}_{(t-\tau)}$  — осредненное по времени руслового добегания  $\tau$  значение притока в водоносные горизонты,  $P_1(\tau)$  — кривая добегания, рассчитанная по кривой спада подземного стока.

Такие подходы имеют то достоинство, что они раскрывают генезис подземного стока, так как показывают, из каких по времени его образования долей стока он состоит. Однако практическое применение этого способа затруднено тем, что расчеты по кривой добегания нужно вести на длительное время. Кстати отметим, что величину притока подземных вод  $q$  в принципе можно рассчитать по фактическому ходу подземного стока из уравнения, которое запишем в виде

$$\bar{q}_{\text{пр}} = \frac{W_{t+\Delta t} - W_t}{\Delta t} + \bar{Q}_t. \quad (41)$$

Выше было показано, что в конечном итоге задача расчета и прогноза режима подземных вод в первую очередь связана с необходимостью определения питания подземных вод.

В свою очередь, все процессы пополнения запасов подземных вод, поступающих через поверхность земли, происходят при накоплении воды на поверхности бассейна, основной характеристикой которого мог бы быть ход во времени площадей покрытия бассейна водой. Другой важной характеристикой могла бы послужить влажность почвы, так как с ней непосредственно связана интенсивность просачивания воды в почвогрунты. Эти характеристики могут быть оценены по снимкам поверхности Земли. Таким образом, дальнейшая задача заключается в непосредственном введении показателей покрытости бассейна водой и влажности почвы в расчетные схемы и непосредственном прогнозе по ним режима подземных вод.

Одной из предпосылок в рассматривавшихся ранее подходах к решению задачи прогноза поверхностного и подземного стока было стремление избежать трудно поддающихся обобщению характеристик, как например, распределение коэффициентов фильтрации, гидравлично-морфометрических характеристик бассейнов, русел и пластов и т. д. Это удается сделать путем введения таких интегральных характеристик процессов стока, как кривые спада, кривые добегания и т. д., определяемых по наблюдениям и расчетам. Кстати отметим, что предлагаемые подходы могут оказаться весьма эффективными в мелиоративной гидрологии и гидрогеологии. Как известно, здесь важное значение для установления норм полива имеет расчет поверхностного стока, подземного питания и уровня подземных вод. Вместе с тем, чрезвычайное разнообразие поливных борозд и степени их покрытия при различных условиях орошения не позволяет получить сколько-нибудь приемлемого решения упомянутых задач.

Введение в расчет площади покрытости водой орошаемой территории, связанной с величинами поверхностного стока и подземного питания, позволяет надеяться на получение более точного решения.

#### ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕДЛАГАЕМЫХ СПОСОБОВ ПРОГНОЗОВ И РАСЧЕТА

Исходные материалы можно разделить на три группы: наземные, самолетные и космические.

К наземным материалам относятся: данные наблюдений за стоком в замыкающих створах, уровнями воды, топографические материалы, характеризующие площади поверхности воды в руслах и на поверхности бассейна, а также рельеф местности, почвы, растительный покров, кривые связи площади русел с уровнями, влажность почвы и др. Часть указанных характеристик может быть получена с низколетающих самолетов, а также фотосъемкой с наблюдательных вышек.

Эти материалы могут быть использованы для нескольких целей, а именно:

1) Отработка методики прогноза и расчета на некоторых бассейнах и стоковых станциях и установление влияния точности измеряемых элементов на погрешность прогноза.

2) Выяснение зависимостей, необходимых при использовании дистанционных измерений, например, установление вида связи между площадью крупных скоплений воды на поверхности бассейна и общей площадью покрытия бассейна водой в различных физико-географических условиях.

3) Определение влияния физико-географических характеристик бассейнов на характер связи между измеряемыми фактора-

ми стока и величинами последнего для разработки метода перехода от изученных бассейнов к неизученным.

4) Использование этих материалов для дешифрирования снимков с космических летательных аппаратов и высотных самолетов.

5) Составление некоторых видов прогноза и особенно катастрофических наводнений (в частности, селей).

Разрешающая способность летательных аппаратов колеблется в весьма широком диапазоне — от 50 до 12 500 м. Масштаб снимка  $m$ , как известно, определяется в первую очередь высотой фотографиярования  $H$  и фокусным расстоянием съёмочной камеры  $f$ . Если не учитывать угол наклона снимка и кривизну земли, то  $\frac{1}{m} = \frac{f}{H}$ .

Для рассмотренных целей главное значение будут иметь летательные аппараты с низкими орбитами и частично средними орбитами, которые смогут обеспечить высокую точность наблюдений для рассматриваемых выше малых объектов.

Разрешающая способность многоспектральной сканирующей системы MSS и телевизионной системы RBV спутника EPTC-1 при числе строк разложения 6000 приближается к разрешению, получаемому пилютируемыми космическими кораблями с более низких высот.

Одной из наиболее сложных проблем для получения надежных аэрокосмических снимков в любое время является исключение влияния облачности и растительности<sup>1</sup>. Весьма перспективным в целях исключения влияния облачности являются поисковые исследования измерений в радиодиапазоне (сантиметровом). При исследованиях в радиодиапазоне либо земная поверхность должна облучаться радиоволнами установленного на системе генератора, либо должно регистрироваться собственное радиоизлучение Земли и атмосферы (пассивные системы). А в некоторых случаях для исключения влияния облачности, в особенности при катастрофических наводнениях, может быть целесообразно дополнительно к спутникам использовать низколетающие самолеты и вертолеты. Следует отметить весьма большую перспективность использования этих самолетов также для отработки методики прогнозирования и то, что фактические разрешения будут зависеть от яркости элементов ландшафта и передаточной функции атмосферы. Для ярких элементов ландшафта и, что особенно важно для гидрологии, линейных объектов (реки, озера) они могут быть существенно выше.

<sup>1</sup> Вряд ли можно в ближайшее время получить снимки сквозь лесной покров. Однако в большинстве районов, покрытых лесом, имеются и участки, свободные от леса. Вероятно, их сток может быть индикатором стока и с окружающих лесных территорий. Это позволило бы наметить на основе экспериментальных работ наиболее простое решение — установление переходных функций от этих индикаторов к стоку с окружающих их лесных территорий.

Таблица 1

## Характерные значения гидрологических характеристик

Измеряемая характеристика	Диапазон характерных размеров объекта
Доля площади покрытия бассейна, покрытая водой	1000 — 30 000 км <sup>2</sup>
Площади увлажнения почв	1000 — 30 000 км <sup>2</sup>
Площадь отдельных микроозер	От нескольких квадратных метров до нескольких квадратных километров
Ширина водного зеркала овражно-балочной сети	10 — 30 м
Площадь водного зеркала речной системы	Длина 10 — 300 км Ширина 50 — 3000 м
Длина временных водотоков	Длина 1 — 3 км

На снимках, сделанных длиннофокусным аппаратом с «Джемини-4» (М 1:700 000), детально проявилась вся овражно-балочная сеть, изображенная на карте штата Нью-Мексико (М 1:200 000). В Аравийской пустыне дендровидная эрозионная сеть тонкими светлыми нитями хорошо выделялась на снимках с этого космического аппарата.

В табл. 1 дается диапазон характерных значений гидрологических характеристик, нуждающихся в дистанционном измерении для использования предлагаемых способов прогноза в соответствии с физико-географическими особенностями бассейна и способами прогноза.

Для принятия оптимального решения (конечно, в случаях, исключаяющих человеческие жизни) мы должны руководствоваться условием, что разность между экономией ( $\mathcal{E}$ ) в результате предсказания и затратами ( $\mathcal{Z}$ ) на проведение измерений и составление прогнозов будет максимальной  $\psi(\Delta) = \max$ . Для этой цели необходимо построить зависимость между возможной экономией и погрешностью прогноза  $\Delta$ , а также степенью общих затрат, связанных с построением прогноза и его погрешностью.

Решая равенство  $\mathcal{E}(\Delta) - \mathcal{Z}(\Delta) = \varphi(\Delta)$ , определяем  $\varphi(\Delta) = \max$ . Весьма важным при таком подходе будет определение оптимального соотношения между наземными, самолетными, спутниковыми измерениями, а также выявление рациональных пропорций между маршрутными, выборочными и сплошными фотозображениями земной поверхности.

## ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗОВ СТОКА В США

В США в настоящее время ведутся работы по созданию вычислительной системы для воспроизведения гидрографов стока с неизученных в гидрологическом отношении водосборов, привлекая, кроме обычных данных, также результаты дистанционных измерений, в частности, измерения со спутников.

В основе этого проекта лежит предположение, что между параметрами модели, описывающей формирование дождевого стока, и физико-географическими характеристиками водосбора, определяемыми с помощью дистанционных измерений, может быть установлена тесная связь.

Проект состоит из трех частей.

1. Разработка и испытания на основании наблюдений в хорошо изученном районе математических моделей стока, параметры которых находятся по данным дистанционных измерений (например, аэрофотосъемки) и некоторым вспомогательным наземным наблюдениям (например, влажность почв). В качестве такого опорного района была выбрана долина р. Теннесси, где имеется густая сеть гидрометеорологических станций.

2. Проведение работ для какого-либо другого бассейна с густой сетью гидрометеорологических станций, заметно отличающегося от долины р. Теннесси физико-географическими и климатическими условиями.

3. Испытание разработанной модели в условиях отсутствия наблюдений за стоком для водосборов, расположенных в различных частях земного шара.

В основу исследований была положена известная Стэнфордская модель, позволяющая воспроизводить элементарные процессы стокообразования (инфильтрацию, поверхностное задержание, трансформацию гидрографа стока и др.) и рассчитывать гидрограф стока на основании наблюдений за осадками и испарением. Параметры модели (их 13) находятся с помощью методов оптимизации по наблюдениям за гидрометеорологическими факторами и измерениями стока в замыкающем створе водосбора. Всего предполагается в долине р. Теннесси учесть 35 водосборов. Наблюдения по 25 водосборам будут использованы для определения параметров и построения корреляционных зависимостей этих параметров с физико-географическими и топографическими характеристиками водосборов. Наблюдения по 10 водосборам будут служить материалом для проверки этих зависимостей.

По разработанным моделям для отдельных водосборов была проведена интересная теоретическая и практическая работа — оценка чувствительности рассчитанных гидрографов к ошибкам в задании параметров, что позволило установить приведенные предварительные требования к точности измерения исходных величин (табл. 2).

Отдельную задачу составляет проблема идентификации характеристики водосбора по аэро- и космическим снимкам. Здесь предполагается использовать панхроматические, цветные, инфракрасные, многоспектральные и др. снимки, почвенные, топографические и геологические карты, географические описания. Предполагается, что в результате выполнения проекта окажется возможным производить непрерывные дистанционные наблюдения

Таблица 2  
Требования к точности измеряемых параметров

Изучаемые характеристики	Требуемое разрешение, м	Тип наблюдений
Топография бассейна	30	Высотные самолеты
Речная сеть	15	»
Типы и распределения растительного покрова	90	Спутники с низкими орбитами
Типы почв	30	Высотные самолеты
Инфильтрационные параметры	—	Наземные наблюдения
Топография и свойства речных долин	3	Наземные наблюдения или низколетающие самолеты
Осадки	—	Наземные наблюдения
Испарение	—	»

за водосбором и на основе этих наблюдений с помощью ЭВМ производить обработку данных дистанционных, наземных наблюдений и давать прогнозы дождевых паводков.

Высоко оценивая технологическую сторону проекта, можно однако на основании большого опыта гидрологических исследований предвидеть, что точность прогнозов по этому проекту не будет высокой, так как корреляционные зависимости при таких коротких рядах (25—35 водосборов) и столь большом числе параметров не могут быть надежными. Отметим, что здесь можно ожидать лучших результатов от уже накопленных в гидрологии эмпирических связей, основывающихся на несравненно большем материале наблюдений.

Рассматриваемый проект не содержит принципиальных возможностей улучшения качества прогнозов на изученных бассейнах, так как основная задача (потери стока) решается традиционным способом. При дополнении этих работ новыми теоретическими построениями и использовании новой информации для разработки более точных способов учета потерь стока, определения притока воды и объема русловых запасов в дальнейшем можно было бы создать предпосылки для сильного улучшения качества прогнозов.

ИЗУЧЕНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ПРОГНОЗ  
ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ  
ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ <sup>2</sup>

В настоящее время наряду с наземными наблюдениями эффективно используются данные аэрофотосъемки и телевизионных изображений со спутников для определения характеристик снежного покрова: высоты снеговой линии в горах и площади покрытости бассейнов снегом. Появились публикации первых руководств по применению спутниковых снимков для картирования снежного покрова.

Высота снеговой линии непосредственно входит в некоторые прогностические зависимости, и поэтому дистанционное ее определение может оказаться весьма полезным для совершенствования прогнозов стока горных рек.

Что же касается площади покрытия поверхности бассейна снегом, то эти данные и особенно данные аэрофотосъемки могут быть использованы и для расчетов гидрографа талого стока. Действительно,

$$Q_t = \int_0^{t=\tau_{\max}} \eta^{F_{t-\tau}} i_{t-\tau} p(\tau) d\tau, \quad (42)$$

где  $i$  — интенсивность водоотдачи снежного покрова,  $F$  — площадь бассейна, покрытая снегом,  $p(\tau)$  — кривая добегания,  $\eta$  — коэффициент стока, зависящий от влажности почвы  $W$ , глубины промерзания  $H$ , растаявшего снега  $x_t$

$$x_t = \int_0^t i dt.$$

Коэффициент  $\eta$  может быть определен по эмпирическим данным  $\eta = f(x_t, W, H)$ . Интенсивность водоотдачи  $i$  может рассчитываться по наземным наблюдениям методом теплового баланса или более приближенно по температуре воздуха. Влажность почвы  $W$  может быть определена по дистанционным измерениям в период времени, предшествовавший дате установления снежного покрова. Глубину промерзания  $H$  можно получить по данным агрометеорологических наблюдений.

Таким образом, представляется возможным составлять прогноз половодья, опирающийся на сочетание дистанционных и на-

<sup>2</sup> Формирование весеннего стока рассматривается с традиционных позиций — анализа влияния снеготаяния на талый сток. При рассмотрении непосредственной причины скопления талых вод на поверхности бассейна мы в другой непривычной плоскости измерений встретились бы с рядом неизученных процессов. Здесь — формирование первичной речевой сети, бесчисленные скопления воды перед снежными заносами, прорывы снежных «дамб» и др. Для создания новой теории нужно еще много теоретико-экспериментальных работ.

земных наблюдений. Вместе с тем, не исключена возможность определения запасов воды в снежном покрове, опираясь только на данные о площадях покрытия бассейна снегом и закономерности снеготаяния.

При этом возможны два случая: первый — исследование картины схода снега на небольшой территории по детальным снимкам; второй — исследование, когда разрешающая детальность снимков не очень велика и рассматриваются данные о площадях покрытия поверхности всего бассейна. Последний при этом все же не столь велик, чтобы различия в термическом режиме, определяющем снеготаяние, были бы существенными.

В первом случае можно получить следующие данные.

1) Изменение во времени в период снеготаяния доли площади бассейна, покрытой снегом,  $(F_{сн}/F_{общ})\% = f(t)$ .

2) Изменение во времени суммарного слоя растаявшего снега (в переводе на воду), рассчитанного по наземным метеорологическим данным (для условий сплошного залегания по хорошо известным в гидрологии методам).

3) Интегральные кривые распределения снегозапасов  $H_i = f(\bar{H}, p)$ , которые являются устойчивыми во времени и могут быть получены по материалам предыдущих наблюдений. Здесь  $p = (F_{сн}/F_{общ})\%$  — вероятность превышения заданной величины стаявших снегозапасов ( $H_i$ ).

Зная  $H_i$ , по наземным данным и  $(F_{сн}/F_{общ})\%$  по дистанционным измерениям, нетрудно рассчитать и средний запас воды в снежном покрове  $\bar{H}$ :

$$\bar{H} = \varphi(H_i, F_{сн}/F_{общ})\% \quad (43)$$

Таким образом, на разные моменты времени мы можем определить запасы воды в снежном покрове указанным способом, что дает возможность непрерывного контроля вычисления снегозапасов. Подтверждением возможности такого подхода в оценке снегозапасов являются полученные расчетным способом (по величине снеготаяния и интегральным кривым распределения снегозапасов) величины  $(F_{сн}/F_{общ})\%$ , которые почти полностью совпадают с определенными по данным наземных наблюдений.

Возможность решения подобной задачи для вышеупомянутого второго случая менее ясна. Действительно, для этого случая в связи с меньшей детальностью мы должны уже рассматривать интегральные распределения средних величин снегозапасов по различным территориям. Поэтому необходимо выяснить влияние размеров территории на форму и устойчивость этих кривых распределения, и только после этого можно будет применить в значительной мере аналогичный описанному выше способ расчета. Весьма интересными являются также возможности оценки снегозапасов по естественному  $\gamma$ -излучению. Действительно, почвы и горные породы содержат естественные радиоактивные элементы, излучающие  $\gamma$ -кванты (некоторые элементы урана, тория, радиоактивный

изотоп калия, калий-40). Гамма-поле до высоты в несколько сот метров обусловлено этим источником  $\gamma$ -излучения. Проходя через снежный покров, это интенсивное излучение ослабевает по экспоненциальному закону в зависимости от запасов воды в снежном покрове.

Опираясь на данные самолетной гамма-съемки, проводимой с высот 25—100 м, оказалось возможным с точностью, близкой к точности наземных данных, получить поле, характеризующее распределение запасов воды в снежном покрове  $x$ . По этим значениям  $x$ , определенным дистанционным способом, можно составить долгосрочный прогноз весеннего половодья. Действительно, общий слой весеннего стока  $y$  приближенно выражается уравнениями:

$$y = x - p_0 \left(1 - e^{-\frac{x}{p_0}}\right) \quad (44)$$

или

$$y = x - p_0 t h \frac{x}{p_0} . \quad (45)$$

Физический смысл параметра  $p_0$  заключается в том, что он равен максимально возможному бассейному водопоглощению. Для районов с глубоким промерзанием почв этот параметр зависит только от влажности почвы, характеристики которой можно определять по спутниковым или самолетным съемкам. Расчетная зависимость составляется по материалам предшествующих наблюдений.

Так как в течение зимы влажность почвы обычно мало меняется, то она или индекс, ее характеризующий, принимаются равными влажности почвы, наблюдавшейся в период, непосредственно предшествовавший дате установления устойчивого снежного покрова. При незначительной глубине промерзания, что часто наблюдается в районах с неустойчивой зимой, вводятся поправки на слабую промерзаемость почв. Интересно отметить, что для довольно обширных районов можно построить территориально общие зависимости, которые позволяют составлять прогноз объема стока и для рек, не имеющих наблюдений. Что же касается прогноза максимальных расходов воды в период половодья, то он должен опираться на прогноз общего объема весеннего стока. Весьма перспективным оказался этот метод и при расчетах запасов воды на поверхности бассейна и в верхнем слое почвы.

Поскольку скопления воды на поверхности бассейна и влажность приповерхностного слоя почвы до глубины порядка 30 см также оказывают влияние на снижение  $\gamma$ -излучения, по изменению интенсивности излучения представляется возможным судить и о величине влагозапасов в верхнем слое бассейна, имеющем решающее значение для формирования поверхностного и подземного стоков.

Целесообразно организовать одновременно с существующим комплексом гидрологических наблюдений также систематические

стационарные наблюдения за естественным  $\gamma$ -полем. Это может открыть новые возможности для изучения и прогноза гидрологических процессов.

### НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА ПО АЭРОКОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

Одна из современных задач гидрологии — использование поступающей со спутников информации о поверхности Земли для анализа гидрологических процессов.

Основные направления в решении этой важной задачи:

- а) развитие теоретической концепции, позволяющей анализировать процессы формирования стока новыми методами;
- б) проведение комплекса наземных и высотных наблюдений за процессом формирования стока как в целях совершенствования теории, так и для установления параметров расчетных моделей;
- в) установление требований, позволяющих создать оптимальную с экономической и гидрологической точек зрения систему наземных и высотных наблюдений.

Представляется, что уже назрела необходимость создания на интересных в гидрологическом отношении полигонах, используемых для космических исследований, также специальных гидрологических станций со значительной программой экспериментальных исследований.

Такая станция должна включать:

- а) бассейны сравнительно небольших рек с детальным освещением топографии поверхности и русловой сети и систему наблюдений, позволяющих фиксировать уровни и расходы воды, термикку водоемов и динамику площадей русловой сети;
- б) стоковые станции, расположенные в различных физико-географических условиях. Некоторые из них должны иметь установки для орошения.

В порядке дополнительных требований к обычным исследованиям должна быть предусмотрена возможность произвольного фотографирования их поверхности с постоянных вышек, привязных аэростатов и стационарного измерения  $\gamma$ -излучения. Эти площади должны быть обеспечены детальной топографической основой, а также эпизодическими съемками запасов воды при различных размерах стока.

Эти наземные наблюдения кроме своих специальных задач могут оказаться необходимыми для эталонного дешифрирования дистанционных наблюдений, проводящихся на полигонах со спутников и самолетов. Кроме совмещения с космическими и самолетными экспериментальными исследованиями на упомянутых станциях должно проводиться изучение структуры стока, необходимое для развития теории его формирования и разработки расчетных прогностических моделей.

Ряд сформулированных выше задач гидрологического прогнозирования может быть решен только по снимкам с высоким разрешением, что неизбежно повлекло бы большой поток информации. Поэтому следует предусмотреть решение этих задач на основе эталонных методических разработок для типичных однородных подстилающих поверхностей на выборочных тестовых участках с привлечением изображений как низкого, так и высокого разрешения. При этом космические снимки с низким разрешением должны быть использованы для выявления однородных физико-географических участков, на которые будут распространены получаемые на выборочных эталонных участках дешифрировочные признаки.

Оптимальная система тестовых опорных участков для аэрофотосъемок и космических съемок с высоким разрешением, так же, как и определение дифференцированных для разных гидрологических задач требований к разрешающей способности аппаратуры, будут определяться результатом комплексного подспутникового эксперимента.

В связи с решением ряда гидрологических задач дистанционными методами, включая фундаментальные задачи прогнозирования стока, необходимо совершенствование аппаратуры дистанционного зондирования, с одной стороны, в направлении повышения ее разрешающей способности, а с другой — в направлении применения новых методов съемки в диапазонах, отличных от видимого. Последнее направление диктуется в первую очередь тем, что важная гидрологическая характеристика — водозапасы, будь то водозапасы замкнутого водоема, русловых систем, почвы, снежного покрова или атмосферы, необходимые как для воднобалансовых оценок, так и для прогноза стока рек, не определяются непосредственно по снимкам, полученным в видимом диапазоне.

В этом плане для оценки водозапасов указанных гидрологических объектов измерение собственного теплового излучения в сантиметровом диапазоне методами пассивной и активной радиолокации сулит получение новой количественной информации и на базе ее — существенный прогресс в гидрологии. Создание соответствующей аппаратуры и разработка методик количественной оценки по излучению в сантиметровом диапазоне спектра водозапасов снежного покрова, атмосферы, почв и замкнутых водоемов является сейчас весьма актуальной и неотложной задачей, решение которой откроет широкие возможности применения дистанционных методов в гидрологии. Измерения в сантиметровом диапазоне, кроме того, даже при существующих низких разрешениях могут оказать большую помощь при интерпретации снимков в видимом диапазоне, как дополнительная информация, не подверженная влиянию облачности.

Задачи изучения состояния водоемов, оценки степени их загрязнения и биологической продуктивности, а также характера ряда гидрологических процессов, например характера снеготаяния, могут быть решены с использованием многозональной съем-

ки на основе закономерностей спектрального альбеда водных и снежных поверхностей в различном состоянии.

Не менее важно развитие методов автоматизированной обработки изображений на ЭВМ и аналоговыми способами с целью опознания, выделения, генерализации и классификации гидрологических объектов и явлений, а также для автоматизированного получения численных параметров, столь важных для гидрологических прогнозов. Применение методов автоматизированной обработки изображений к гидрологии является особенно важным, поскольку водные ресурсы из всех видов природных ресурсов являются наиболее изменчивым элементом.

Изложенные ранее модели прогноза гидрологических характеристик весьма схематичны и нуждаются в совершенствовании. Однако представляется, что они могут быть полезны, так как включают новые, не рассматривавшиеся в других моделях стока факторы, такие, как площади покрытия бассейна водой, площади русел и др., которые находятся в непосредственной связи с рассмотренными характеристиками стока и позволяют вести расчет, минуя такие трудно поддающиеся оценке элементы, как потери стока и частично осадки. Поэтому эти методы содержат в себе принципиальную возможность более точного прогнозирования, чем обычно применяющиеся способы прогнозов стока, основанные на учете осадков и потерь стока.

Изложенные выше подходы к прогнозу стока стимулируют развитие новых экспериментальных и теоретических исследований, непосредственно связывающих структуру строения поверхности бассейна со структурой стока.

Рассматриваемые в статье гидрологические предпосылки прогнозов стока по снимкам земной поверхности показывают на те новые возможности, которые возникают в этой области знания благодаря развитию дистанционных методов исследования природных ресурсов. Некоторые из этих возможностей могут быть реализованы в сравнительно короткое время. Однако полноценное использование новых возможностей требует проведения детального анализа точности определения гидрологических характеристик по фотоснимкам, сделанным в различных зонах спектра, в различных масштабах и при различных условиях погоды с последующей оценкой влияния этих факторов на точность прогнозов стока.

Такой анализ должен будет служить основой для установления требований к точности дешифрирования снимков, точности установления передаточных функций атмосферы и разработке новых методов изучения земной поверхности применительно к рассматриваемым задачам.

В заключение необходимо подчеркнуть, что разнообразие процессов формирования стока, четкая последовательность их развития во времени при различных по своим масштабам явлениях создают предпосылки для разработки системы способов прогнозов стока, опирающихся на разномасштабные во времени и простран-

стве явления, происходящие на поверхности Земли. Это создает благоприятные условия для последовательного (по мере развития точности дешифрирования) применения дистанционных методов измерения в целях изучения процесса формирования режима вод суши и прогнозов стока.

Итак, в настоящее время при развитии обширных исследований появляется принципиальная возможность создания новой системы составления прогнозов почти всех видов стока и частично методов расчета стока на основе дистанционного зондирования. Представляется, что эта новая система прогнозирования стока будет постепенно дополняться, а в некоторых случаях, где она окажется более точной и экономически более выгодной, чем существующая, и заменять последнюю.

Основное значение этой работы в том, что из нее следует четкая программа будущих исследований как в целях дальнейшего познания процесса формирования стока, так и в развитии методов расчета стока, основанных не только на наземных, но и на дистанционных методах измерений.



*К. Н. Федоров, В. Е. Скляр*

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКЕАНА С ПОМОЩЬЮ ИСЗ

### ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КОСМИЧЕСКОЙ ОКЕАНОЛОГИИ

Последнее десятилетие ознаменовалось большими успехами в области исследования атмосферных процессов с помощью методов дистанционных измерений. Серия экспериментальных спутников и космических лабораторий, созданных в СССР и в США, позволила с качественно новой стороны подойти к исследованию как атмосферы, так и свойств подстилающей поверхности.

Использование дистанционных датчиков, установленных на борту орбитальных станций или ИСЗ, открывает широкие возможности и в области изучения океана. Давно установившаяся практика исследования водной среды методами контактных измерений с научно-исследовательских судов не вполне адекватна масштабу изучаемого явления. Бескрайние просторы Мирового океана и специфические трудности проведения экспедиционных работ приводят к растягиванию гидрологических съемок до месячных сроков. В то же время ряд важнейших в народнохозяйственном и теоретическом плане задач океанологии может быть решен при условии оперативного получения информации с больших районов океана.

Актуальной задачей океанологов в настоящее время является выбор наиболее перспективных направлений и разработка однозначных методов интерпретации данных дистанционных измерений.

### *Исследование поля температуры поверхности океана*

Температура является важнейшим параметром, характеризующим состояние водной среды. В настоящее время температура измеряется регулярно лишь в некоторых береговых пунктах и во время рейсов научно-исследовательских судов. При исследовании поля температуры приходится использовать весьма ограниченное количество к тому же несинхронных данных. Использование спутниковых измерений позволит регулярно получать подробные карты поверхностной температуры океана. Для дистанционных измерений теплового излучения подстилающей поверхности в настоящее время используются ИК-радиометры, работающие в «окне» прозрачности атмосферы (10,5—12 мк) и микроволновые в диапазоне от 3 до 10 см. ИК-радиометры устанавливаются, как правило, на всех метеорологических спутниках как советских, так и американских («Метеор», Нимбус», NOAA и др.) Точность измерений температуры океана не превышает 1К по самым оптимистическим оценкам. Для решения целого ряда задач океанологии дистанционный термометр должен обеспечивать измерение тепловых контрастов с точностью 0,1К и поверхностным разрешением — 1 км, но на первом этапе и более грубые измерения могут дать интересные данные.

### *Измерения уровня поверхности океана*

Действие ветра, приливо-отливных сил и барометрического давления постоянно изменяют форму поверхности океана. Неровности морской поверхности обуславливаются влиянием целого ряда факторов: ветровых капиллярных (1 мм — 1 см) и гравитационных волн (1—20 м), волн цунами (0,5 м), ветровым нагоном водных масс вблизи берегов (1 м), штормовых нагонов (4 м), приливов (1 м), неоднородностью поля атмосферного давления (25 см) и наклонами поверхности, обусловленными геострофическими течениями (50 см)<sup>4</sup>.

Пространственные размеры неровностей могут меняться от сантиметров до сотен и даже тысяч километров.

Анализ результатов измерения уровня океана, выполненного в глобальных масштабах, позволит решить основную проблему физической океанографии: определение динамического рельефа изобарических поверхностей и глобального геострофического пере-

<sup>4</sup> В скобках указан характерный вертикальный размер неровностей.

носа масс воды и тепла океаническими течениями на всех глубинах.

Особое практическое значение имеет своевременное оповещение береговых районов о возникновении и приближении цунами. По имеющимся данным, цунами, возникающему в Тихом океане, требуется около суток для пересечения океана. Если спутник делает порядка 14 витков в сутки, то не менее 5 витков будут проходить над акваториями Тихого океана, что, по-видимому, будет достаточно для прослеживания траектории движения этой разрушительной волны.

В настоящее время наиболее перспективным методом получения топографической карты поверхности океана является применение спутникового альтиметра (короткоимпульсного радара — датчика высоты).

В целях получения информации, представляющей интерес для океанологии, необходимо иметь достаточно высокий уровень разрешающей способности альтиметра.

Разрешающая способность порядка 1 м дает возможность обнаружения наиболее интенсивных приливов в зонах континентальных шельфов, штормовых нагонов и поверхностных поднятий уровня, связанных с западными пограничными течениями.

Повышение значения разрешения до 0,1 м позволит определять отношение между рельефом моря и геоидом и детально исследовать структуру общей океанической циркуляции.

### *Исследование морского волнения*

В настоящее время существует реальная основа для планирования регулярных измерений морского волнения с борта ИСЗ; причем имеется принципиальная возможность регистрации не только балльности волнения, но и определения крутизны и направления распространения волн, а также получения двумерного пространственного спектра взволнованной поверхности.

Синоптическая съемка карт морского волнения дала бы важнейшую информацию для мореплавания, например, для выбора оптимальных, с точки зрения безопасности, маршрутов судов (сейчас такие карты весьма приблизительно рассчитываются по метеорологическим данным).

Для измерения волнения с борта ИСЗ перспективны радиолокаторы и лазеры. Последние, благодаря небольшим габаритам и более высокой разрешающей способности, являются особенно эффективным средством. Однако их применение ограничивается неблагоприятными метеорологическими условиями. Радиолокационная техника позволяет проводить измерения при любых погодных условиях. Имеющийся опыт экспериментальных работ позволяет сделать вывод о целесообразности использования, с целью измерения волнения, аппаратного комплекса, состоящего из пассивного и активного радиолокатора (радиометр — скаттерометр). Такой

комплекс был успешно апробирован в ходе экспериментальных полетов космической станции «Скайлэб».

Основной проблемой, связанной с использованием подобных систем, является необходимость применения узконаправленных антенн в связи с большими высотами полета спутника (несколько сотен километров). Также следует отметить, что при измерении радиолокационного рассеяния главный вклад вносят ветровые капиллярные волны, соизмеримые с длиной волны зондирующего сигнала.

Недостаточное количество экспериментальных данных о связи спектра океанских волн с радиолокационным отражением требует постановки специальных исследований на полигонах, где в течение длительного времени будут проводиться синхронные измерения с научно-исследовательских судов, самолетов и ИСЗ.

### *Исследование ледового покрова*

Согласно ориентировочным расчетам, 10% поверхности нашей планеты является замерзшей, причем это, главным образом, районы океанов. Излишне говорить о том определяющем влиянии, которое оказывают ледники на формирование климата на Земле.

В настоящее время советские и американские метеорологические ИСЗ регулярно проводят съемку ледовых полей в видимой и инфракрасной областях спектра. С помощью ледовых снимков можно определять положение кромок льда, припая и больших полыней, а также айсберги и зоны льда разной сплоченности.

В последние годы получены обнадеживающие результаты испытаний лазерных систем определения профиля ледовых поверхностей и замера высоты торосов.

Граница раздела между льдом и водой весьма просто определяется при измерениях в микроволновой области спектра (из-за резкого отличия излучательных свойств льда и воды). Кроме того, микроволновый радиометр позволяет классифицировать ледовый покров на однолетние и многолетние льды.

### *Исследование цветового поля океана*

Для чистой океанской воды, как правило, характерен синий цвет. Обычно считается, что синий цвет обусловлен селективным поглощением излучения самой воды, которая является своеобразным монохроматором для синего цвета. Особый интерес вызывают условия, приводящие к изменению естественной окраски моря. Нарушения окраски вызываются увеличением мутности, интенсивным развитием фитопланктона, скоплением зоопланктона и др. Цветовые контрасты, наблюдаемые со спутника, несомненно отражат влияние вышеперечисленных факторов, а также позволят судить о глубине (по интенсивности синего цвета) и о наличии на воде пленок поверхностно-активных веществ.

Все вышеперечисленные явления можно исследовать путем применения многозональных и цветных камер. Следует, однако, отметить, что имеются определенные трудности в регулярном получении цветных снимков из космоса, а системы передачи цветных телевизионных изображений имеют недостаточную разрешающую способность.

С борта ИСЗ принципиально возможно определение содержания в морской воде хлорофилла — важнейшего вещества, содержащегося в фитопланктоне и определяющего процесс фотосинтеза. Интерес к подобным исследованиям простирается от чисто научных целей до целей сугубо прикладного характера — выявления районов наибольшей продуктивности.

Метод определения содержания хлорофилла состоит в изучении спектра солнечного излучения, отраженного океаном. Хлорофилл имеет две четко выраженные полосы поглощения в видимой области спектра.

Так, измеряя излучение в фиолетово-сине́й области ( $\lambda = 0,42-0,46$  мк) (полоса поглощения хлорофилла) и в красной области (0,66—0,70 мк), можно получить надежный метод оценки содержания хлорофилла. Для получения представления о вертикальном распределении хлорофилла, а следовательно и планктона, перспективно применение лазера на борту ИСЗ.

#### *Индикация районов загрязнения Мирового океана*

В последнее десятилетие темпы загрязнения морей и океанов достигли угрожающих размеров. Морскую воду загрязняют три типа агентов: бактериологические, химические и радиоактивные. На данном этапе для ресурсов океана наибольшую опасность представляет загрязнение вод различными углеводородами. По самым приблизительным подсчетам в Мировой океан ежегодно попадает не менее 5 млн. т нефти. Мономолекулярный слой углеводородов, покрывающий поверхность океана, нарушает нормальное взаимодействие между водной средой и атмосферой. Нарушение такого взаимодействия может, в частности, приводить к обеднению содержания в морской воде растворенного кислорода.

Следует отметить, что методы дистанционной индикации загрязнений еще недостаточно разработаны. Некоторые возможности здесь открывают спектральные методы (в видимом и инфракрасном диапазонах) и методы микроволновой радиометрии. Можно полагать, что легче будет изучать распространение загрязнений, изменяющих цвет или повышающих мутность океанской воды.

#### *Измерение поля солености*

Соленость (или электропроводность) океанской воды определяется концентрацией растворенных в ней солей, температурой и гидростатическим давлением. Средняя концентрация солей в во-

дах Мирового океана равна 35‰. Более низкая соленость встречается в прибрежных районах океана в местах выноса пресной воды из крупных рек, в верхних широтах за счет опреснения поверхностных вод в период таяния льда, а также в морях, имеющих слабый водообмен с океаном и большой приток пресной воды. В некоторых внутренних морях с небольшим притоком речной воды и интенсивным испарением происходит увеличение концентрации солей.

В настоящее время имеется принципиальная возможность измерения солености океана методами микроволновой радиометрии. Наиболее подходящим диапазоном, по-видимому, является область длин волн 20—30 см, так как на более коротких волнах эффект солености пренебрежительно мал, а на более длинных волнах сказывается влияние космических шумов, отраженных от земной поверхности, переменного поглощения в ионосфере и помех от активных радиолокаторов. Чтобы оценить возможность измерения солености с помощью микроволнового радиометра, мы провели простые численные оценки. Была выбрана длина волны  $\lambda=20$  см и средняя температура поверхности океана, равная  $15^{\circ}\text{C}$ . Оценки показали, что для данной длины волны изменение солености на 1‰ вызовет изменение в радиояркостной температуре на величину порядка 0,3 К. Отметим, что в настоящее время точность измерения радиояркостных контрастов составляет величину порядка 1 К, а соленость в океане меняется не более чем на 3—4‰ при переходе от экватора к высоким широтам. Кроме того, отметим, что соленость используется, как правило, для расчета плотности. При этом, для расчета плотности морской воды с точностью  $10^{-6}$  г/см<sup>3</sup> необходимо определять соленость с точностью  $10^{-3}\text{‰}$  для поверхностного слоя воды.

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что в ближайшее время следует рассчитывать реально лишь на индикацию границ раздела пресных и соленых вод, а также резких аномалий в поле солености (в опресненных районах океана в местах впадения крупных рек).

### *Исследование прибрежной зоны океана*

Частично исследование прибрежной зоны океана уже сейчас возможно проводить при помощи метеорологических ИСЗ типа «Метеор». Так, разрешающая способность телевизионных снимков порядка 1 км позволяет решать вопросы картографирования береговой черты. Особое преимущество спутниковой информации здесь заключается в освещении отдаленных и труднодоступных районов. В дальнейшем с более высоким разрешением можно получать ценнейшую информацию об эволюции берега континентов и островов.

Применение цветного и многозонального фотографирования позволит решить ряд важных задач: картирование топографии дна, прослеживание струй речных вод, выявление прибрежных течений

(включая циркуляцию вокруг островов, вдольбереговые и мутьевые потоки и т. д.). Чрезвычайно важной задачей для судоходства является точное обнаружение мелководий, банок и баров.

При планировании работ по изучению мелководий следует иметь в виду следующие факторы: а) вода в районе малых глубин обычно бывает теплее; б) структура температурных неоднородностей в этих районах более мелкомасштабная; в) изменение цвета воды (отражение солнечных лучей от дна, наличие осадочных частиц и др.); г) изменение направления волн и сокращение их длины.

### *Буйковые системы и определение местонахождения судов*

Наблюдение из космоса за местонахождением свободно дрейфующих буев даст весьма ценную информацию о закономерностях движения океанских вод. Система таких буев, плавающих на поверхности или находящихся в притопленном состоянии и поднимающихся на поверхность для передачи информации, позволит выполнить непосредственные (контактные) измерения гидросферы в широком диапазоне пространственных и временных масштабов. Весьма полезными также окажутся буи, поставленные на якорь в определенных интересных с точки зрения динамической изменчивости районах океана.

Уже осуществленной задачей является навигация научно-исследовательских судов, основанная на приеме ими сигналов со спутника и позволяющая фиксировать положение судна с точностью до десятков метров, что по меньшей мере на порядок выше обычных методов радионавигации и астрономического местоопределения.

### *Исследование структуры океанского дна*

Геоманнитные измерения с ИСЗ позволят охарактеризовать региональные неоднородности земной коры, проявляющиеся как следствие крупных тектонических элементов: трансокеанских разломов, грабенов, поднятий, валов и т. д.

Высокая точность современных спутниковых магнитометров позволяет фиксировать возмущение магнитного поля амплитудой 5—10 γ. Эти аномалии, будучи зафиксированными на весьма больших высотах, несомненно отражают неоднородности внутреннего строения глубинных частей земной коры и верхней мантии.

## ОСОБЕННОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКЕАНА

### *Особенности распределения поля температуры*

Температура океана является одним из наиболее изменчивых параметров. Эта изменчивость наблюдается как в пространстве, так и во времени. Наибольшие колебания температуры происходят в поверхностном слое океана и имеют сезонный характер. Температура поверхностного слоя воды в различных районах Мирового океана может колебаться в пределах от  $-1,5$  до  $30^{\circ}\text{C}$ . В качестве примера на рис. 1 показано распределение температуры поверхностного слоя воды Атлантического океана (среднегодовые, многолетние значения). Следует отметить, что в ряде случаев наблюдается прогрев верхнего слоя воды толщиной в несколько метров до температуры более  $32^{\circ}\text{C}$ . Такое повышение температуры имеет место в Красном и Карибском морях, Персидском заливе и др. Пространственное распределение поля температуры характеризуется ярко выраженной неоднородностью и анизотропией.

Применение ИСЗ с целью получения подробных карт температуры открывает широкие возможности для решения ряда важнейших проблем океанологии.

Большой интерес вызывает возможность установить взаимосвязь между течениями в верхних слоях и распределением температуры по поверхности. Наличие такой взаимосвязи позволит по измерениям температуры обнаружить местоположение и временную изменчивость океанических фронтов, струи холодных и теплых течений и вихри на таких струях с масштабами от сотен до единиц километров, области дивергенции течений и подъема холодных глубинных вод (апвеллинга), отличающихся, вследствие своего богатства питательными солями, повышенной биологической продуктивностью. На рис. 2 показано распределение по Мировому океану областей апвеллинга. Поверхностная температура в зоне апвеллинга значительно ниже характерного значения для данной широты. Так, например, в июле — августе воды в зоне апвеллинга вблизи Орегонского побережья примерно на  $8^{\circ}\text{C}$  холоднее окружающих вод. Экваториальный апвеллинг характеризуется небольшими градиентами в поле поверхностной температуры в направлении вдоль экватора для восточной и центральной частей Тихого океана. Температурный градиент в меридиональном направлении составляет порядка  $2^{\circ}\text{C}$  на 100 миль.

Особый интерес представляет изучение воздействия тропических ураганов на термальную структуру поверхностного слоя океана. Экспериментальные работы, проведенные с судов и самолетов (ИК-радиометрия) показывают, что после прохождения урагана поле температуры поверхностного слоя претерпевает сильные изменения. На поверхности появляются пятна холодной воды, имеющие температуру на несколько градусов ниже окружающих вод.

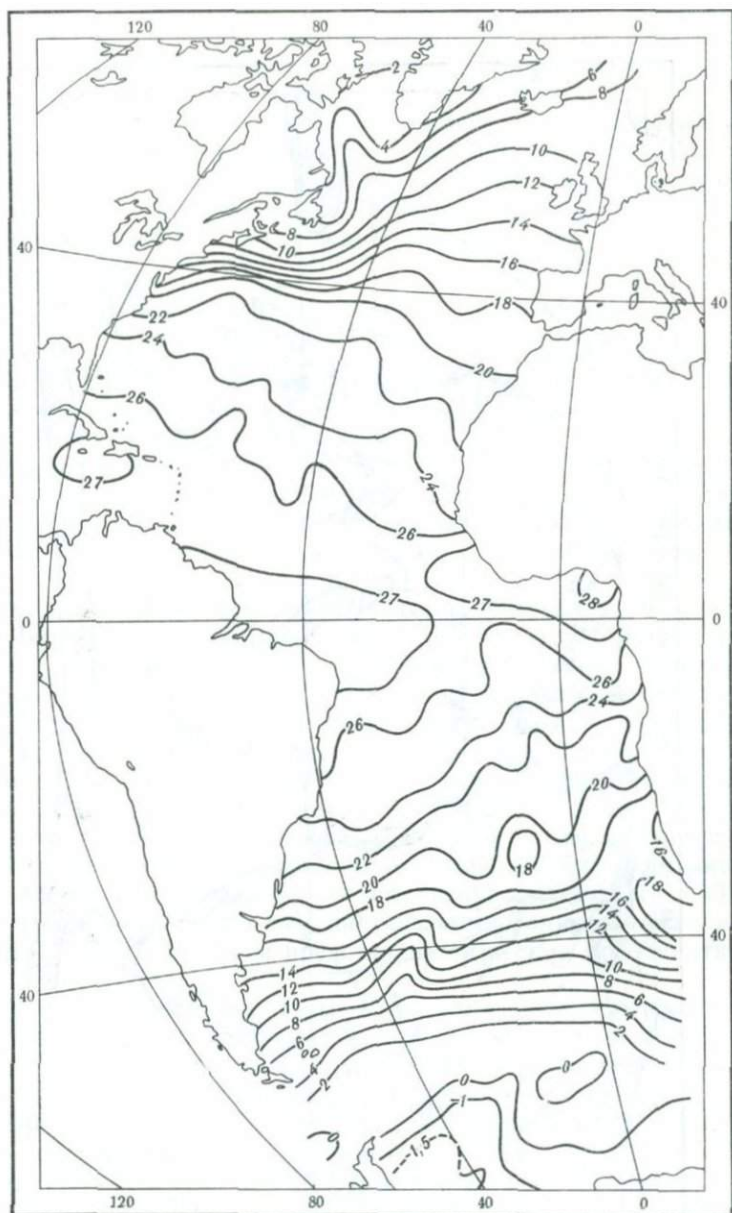


Рис. 1. Распределение поверхностей температуры Атлантического океана (среднегодовые, многолетние значения)

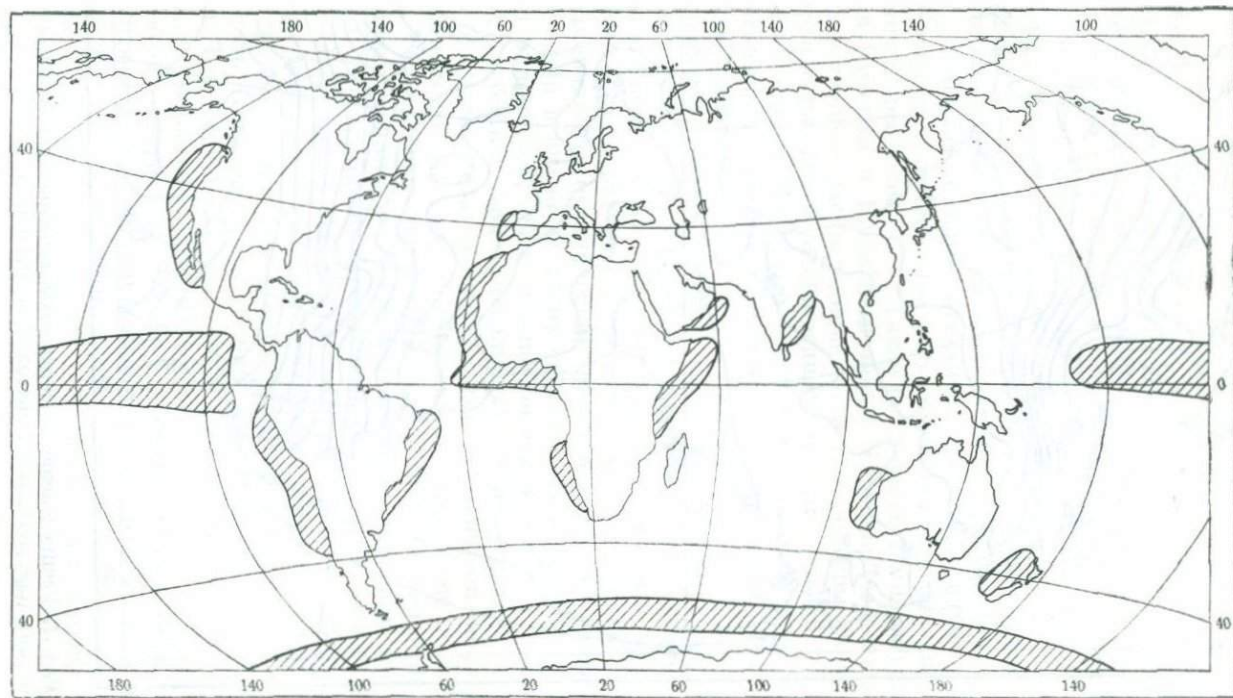


Рис. 2. Распределение по Мировому океану областей (заштрихованные участки) апвеллинга

По имеющимся в настоящее время сведениям ураганы вызывают сильную вертикальную циркуляцию вод поверхностного слоя, приводящую к выносу на поверхность холодных глубинных вод и опусканию теплых поверхностных.

Интересна также связь изменений температуры с облачностью (прогрев верхнего слоя моря солнечной радиацией при ясной погоде, а при облачной — тенденция к выравниванию температур моря и приповерхностного слоя воздуха) и ветром, усиливающим испарение и соответствующее охлаждение поверхностной пленки.

### *Специфические вопросы интерпретации спутниковых измерений поля температуры*

В настоящее время измерения температуры поверхности океана осуществляются регулярно метеорологическими ИСЗ. Параметры ИК-аппаратуры (установленной, например, на спутниках NOAA) имеют приемлемые характеристики: спектральный диапазон 10,5—12 мк, пространственное разрешение порядка 1 км и точность измерения температурных контрастов порядка 1К. Однако ИК-измерения возможно проводить лишь в условиях отсутствия облачности.

В последние годы усиленно изучается возможность использования микроволновых радиометров для измерения температуры водных поверхностей. Такие измерения принципиально возможно осуществлять в диапазоне длин волн 5—10 см. Однако при интерпретации микроволновых измерений возникают свои специфические трудности — сильные вариации излучательной способности в зависимости от целого ряда факторов: состояния поверхности, наличия поверхностно-активных веществ, угла обзора, колебаний солености и др. Кроме того, современные микроволновые радиометры существенно уступают в разрешении по температуре и пространству ИК-радиометрам. Создание же высокочувствительного ( $\Delta T \approx 0,1$  К на элемент разрешения) сканирующего микроволнового радиометра в ближайшие годы представляется весьма проблематичным.

Рассмотрим кратко некоторые трудности, возникающие при интерпретации инфракрасных измерений температуры океана. Как известно, ИК-радиометр измеряет температуру тончайшей поверхностной пленки воды. Толщина эффективно излучающей пленки для ИК-диапазона составляет величину порядка 1 мк. В судовой практике температура поверхностного слоя измеряется контактными методами по глубине 0,5—1 м и приписывается при этом к нулевому горизонту. Кроме того, следует учитывать, что спутниковые измерения соответствуют интегральному потоку излучения с некоторой площади, определяемой пятном разрешения, а судовые производятся в физической точке. Следовательно, в процессе сравнения спутниковых и судовых наблюдений (являющегося необходимым этапом для апробации той или иной методики интерпрета-

ции) участвуют неадекватные величины. Сказанное имеет существенное значение, так как в тонком поверхностном слое имеется сильный вертикальный градиент температуры. На рис. 3 показан температурный разрез тонкого поверхностного слоя воды, характерный для Черного моря в осенний период. В самом верхнем подслое температура с глубиной меняется по линейному закону, а начиная с глубин порядка 0,05 м, — по экспоненциальному закону. Наблюдается устойчивость градиента при волнении моря до 2,5 баллов (Андреев и др., 1971).

Ряд других экспериментов, проведенных в океанических условиях, подтверждает наличие вертикального градиента в тонком поверхностном слое, однако его характер в сильной степени зависит от метеорологических условий. В ряде случаев наблюдается смена знака градиента. Как правило, это происходит в тропических широтах в полуденные часы при отсутствии ветра и облачности.

Бесспорно, важнейшим фактором, влияющим на точность измерения температуры воды, является поглощение радиации в атмосфере. Исследованию этого влияния посвящено много работ и мы не будем специально рассматривать их результаты в этом сообщении. Отметим лишь, что, по-видимому, наиболее перспективным (с точки зрения исключения влияния атмосферы) методом является использование при измерениях двух узких спектральных диапазонов с центрами на 9,1 и 11,0 мк. Показано расчетным путем, что в этом случае возможно измерение температуры океана с погрешностью, обусловленной влиянием поглощения в атмосфере, порядка  $0,15^{\circ}\text{C}$  (Anding, Kauth, 1970).

Кроме атмосферы, на результаты измерения температуры существенное влияние оказывает облачность. Даже в случаях применения ИК-радиометра с очень высоким пространственным разрешением (порядка 1 км) возможно попадание в поле зрения облачных образований, что будет приводить к заниженным значениям эффективных температур. В практике американских исследований применяются различные методы фильтрации спутниковой информации. Так, например, метод гистограмм (Smith et al., 1970) позволяет исключить влияние облачности и шумовой компоненты.

Этот метод был положен в основу обработки информации, получаемой с помощью аппаратуры HRIR со спутников «Нимбус». Рассмотрим рис. 4, где построены две гистограммы соответственно для двух участков океана, размерами каждого —  $2,5 \times 2,5^{\circ}$  (по широте и долготе). «Теплый» участок на кривой распределения в наименьшей степени подвержен влиянию облачности и, отчасти, принимает форму гауссовой кривой из-за случайного характера аппаратурных шумов. Стандартная ошибка, обусловленная шумом аппаратуры HRIR, составляет 1,5К. Следовательно, истинное значение температуры определялось для обеих гистограмм как  $302,5 - 1,5 = 301\text{К}$ .

Таким образом, поверхностная температура определяется как температура точки максимального наклона на «теплом» участке

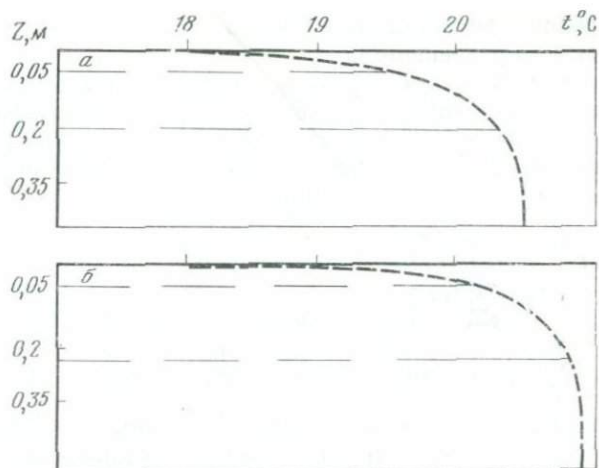


Рис. 3. Температурный разрез поверхностного слоя Черного моря  
 а — ровная поверхность; б — волнение 2,5 балла

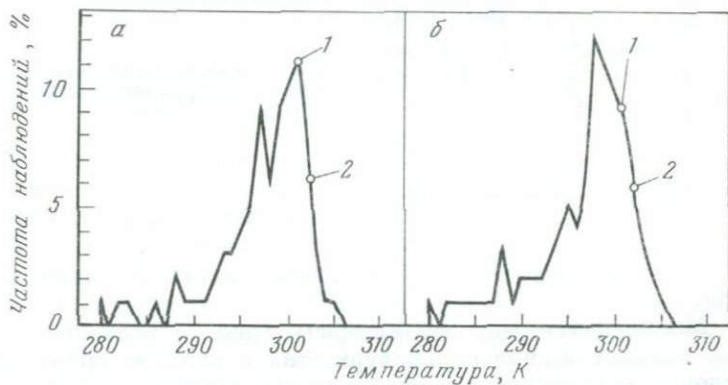


Рис. 4. Гистограммы распределения температур по данным аппаратуры HRIR спутника «Нимбус-3»

а — 20—22,5° N, 157,5—160° E; б — 20—22,5° N, 160—162,5° E; 1 —  $T(stc) = T(+1\sigma) - 1,5^\circ = 301$  K; 2 —  $T(+1\sigma) = 302,5$  K

гистограммы минус стандартная ошибка измерений  $\sigma$ . Эта величина будет более высокой, чем наблюдаемый модальный пик температуры в условиях присутствия облачности, так как в этом случае наблюдаемые яркие температуры имеют тенденцию к смещению в «холодную» часть гистограммы. Сравнение 5 судовых экспериментальных наблюдений температуры со спутниковыми данными показало их удовлетворительное соответствие. В настоящее время этот метод используется американскими исследователями при построении карт температуры океана по спутниковым данным.

Однако метод гистограмм, как и другие методы вычисления

среднего значения по площади, приводит к ухудшению пространственного разрешения.

С нашей точки зрения, представляется целесообразным использовать в процессе обработки спутниковой информации идею оптимальной интерполяции, основанную на использовании статистических свойств исследуемого поля. Алгоритм оптимальной интерполяции записывается в виде

$$t_k = \bar{t} + t_k';$$

$$t_k' = \sum_{i=1}^n p_i t_i';$$

$$\sum_{j=1}^n B_{ij} p_i + \eta_i p_i = B_{ik} \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

где  $t_k$ ,  $\bar{t}$  и  $t_k'$  — соответственно искомое значение температуры, среднее значение и отклонение от среднего значения в  $K$ -ом узле;

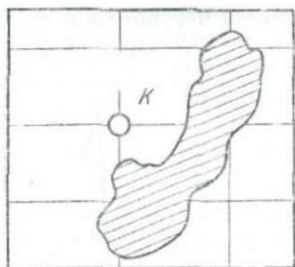


Рис. 5. Алгоритм оптимальной интерполяции (заштрихованная часть подразумевает облачность)

$p_i$  — весовые множители;  $B$  — значения автокорреляционной функции.

Мы надеемся, что этот алгоритм (рис. 5) позволит исключить как влияние шумов аппаратуры, так и влияние облачности, при условии сохранения высокой разрешающей способности. Сейчас с использованием этого алгоритма, нами проводится обработка информации, полученной в ходе совместного советско-американского эксперимента 1973 г. по синхронному измерению (судно — спутник) поля температуры Северной Атлантики.

Резюмируя вышеизложенное, можно сказать, что использование ИСЗ для изучения океана открывает широкие возможности для решения целого ряда актуальных задач океанологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Андреев Е. Г., Лошкарев В. Г., Рыбкин М. И. и др. Вертикальное распределение температуры в тонком поверхностном слое моря. Вестн. МГУ. Сер. физ., астрофиз., 1971, т. 12, № 5.
- Anding D., Kauth R. Estimation of sea surface temperature from space.— Remote Sensing of Environment, 1970, No. 1.
- Smith W. L., Rao R. K., Koffler R., Curtis W. R. The determination of sea — surface temperature from satellite high resolution window radiation measurements.— Monthly Weather Rev., 1970, v. 98, No. 8.

## ПРОБЛЕМЫ РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РЕШЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Многообещающие перспективы использования космических аппаратов для изучения явлений, процессов, характеристик и особенностей поверхности и атмосферы нашей планеты ныне достаточно очевидны. Оптимистические прогнозы вырисовываются при анализе целесообразности и эффективности применения космических аппаратов для изучения Мирового океана, процессов, происходящих в нем, и, в частности, для повышения результативности рыбного промысла.

Площадь Мирового океана превышает 361 млн. км<sup>2</sup>, что составляет почти  $\frac{3}{4}$  (точнее 70,8%) земной поверхности. В последнее время Мировой океан многими учеными рассматривается как важнейший и весьма перспективный источник снабжения человечества необходимыми ему продуктами питания и прежде всего дефицитными во многих странах белками животного происхождения.

Современные представления о потенциальных возможностях океанических биологических ресурсов свидетельствуют о реальной вероятности увеличения мирового улова примерно в 1,5 раза с доведением его до 90—100 млн. т. Этот уровень может быть достигнут при условии более широкого промыслового освоения открытых океанических районов, подчас весьма удаленных от берега, поиска новых объектов лова, организации рыбопромысловой разведки в пределах всей океанической акватории.

Задача эта сложная и исключительно трудоемкая. В настоящее время общая площадь районов промысловой деятельности составляет всего лишь около 10% всей водной поверхности океана, но и при этом она исчисляется 25—30 млн км<sup>2</sup>. Здесь работают сотни тысяч промысловых судов разного тоннажа. Обеспечить оптимальную расстановку этого флота, с тем чтобы он работал наиболее эффективно, избежать низких уловов или полного их отсутствия, до минимума уменьшить время, затрачиваемое на переходы поисковых, промысловых и транспортных судов — все эти и многие другие вопросы, связанные с повышением результативности промысла в условиях почти каждодневно меняющихся океанологического режима и распределения промысловых объектов на огромной акватории Мирового океана, должны решаться в сжатые сроки на основании соответствующей оперативной информации.

Советский рыболовный флот за последние годы стал подлинно океаническим. Наши рыбаки обеспечивают каждому жителю нашей страны около 30% пищи животного происхождения. Добыча рыбы осуществляется в пределах практически всех районов океана, нередко весьма удаленных от советских портов и протяжен-

ность пробега рыболовного судна до района лова зачастую равно расстоянию между Москвой и Хабаровском.

Большое число поисковых и исследовательских судов занято выявлением промысловых скоплений рыб и наведением на них судов промыслового и рыбообрабатывающего флота. Напомним, что каждая из современных плавучих рыбообрабатывающих баз нуждается для обеспечения ритмичной и эффективной работы в ежедневном поступлении до 100 т рыбы. Естественно, что в условиях океана это может быть обеспечено только при условии повседневно действующей результативной рыбопромысловой разведки, обеспечивающей рыболовный флот регулярными данными о распределении и особенностях сырьевой базы в пределах акватории Мирового океана. Если уже теперь промысловая разведка должна (но уже не в состоянии) обеспечивать поисковые работы в пределах нескольких миллионов квадратных километров океанической поверхности, то в ближайшее время ей необходимо будет повседневно держать под контролем до 200 млн км<sup>2</sup> акватории океана, для чего при современных технических средствах потребовалось бы несколько тысяч поисковых судов. Не трудно видеть, что путь этот не реален. Очевидно, решение задачи, связанной с глобальным поиском рыбы, следует искать в другом направлении.

Еще в довоенный период, когда советское рыболовство сделало первые шаги по освоению сырьевых ресурсов, прилегающих к его побережью морей, была привлечена авиация и с борта самолетов хорошо просматривались скопления рыбы. Позже с помощью установленной на самолете ИК-аппаратуры удалось определять температуру верхнего слоя воды и таким образом в сжатые сроки составлять карты поверхностных температур, а тем самым и в определенной степени распределения водных масс различного происхождения. Между тем именно от особенностей водного режима в значительной мере зависит размещение рыбопродуктивных зон в океане. Так, например, в результате противоборства двух мощных течений — теплого Куросио и холодного Курильского, вблизи южных Курильских островов, а также островов Хоккайдо и Хонсю, т. е. там, где дальневосточные рыбаки ведут промысел сайры, скумбрии и других рыб, температуры поверхностного слоя весьма изменчивы, что, в свою очередь, меняет размещение и поведение скоплений рыб. Участие авиации в промысловой разведке во многом способствует успешной деятельности рыбопромыслового флота.

Однако действия авиации ограничены относительно прибрежными районами и распространить их на весь Мировой океан невозможно. Эффективно решать задачу поиска промысловых скоплений рыбы или способствовать ее решению могут орбитальные станции или ИСЗ, снабженные специальной аппаратурой.

Для успешного поиска промысловых скоплений рыбы и оперативного руководства флотом необходимо получение круглогодичной информации с большой частотой повторяемости (ежедекадной или полумесячной) о размещении водных масс, распределении

полей кормовых объектов (прежде всего зоопланктона), размещении и миграциях промысловых рыб в пределах практически всей акватории Мирового океана (кроме бассейна Ледовитого океана).

Такого рода информация, полученная со спутников и орбитальных станций и превращенная в соответствующие карты, даже с относительной небольшой точностью привязки, может оказать неоценимую услугу советскому океаническому рыболовству, способствуя повышению эффективности работы поискового и рыбопромыслового флотов.

Рыбохозяйственные исследования свидетельствуют, что океан, его водные массы и свойственные ему биопродуктивные процессы имеют чрезвычайно разнородный характер. Только 35% всей океанической поверхности может быть отнесено к продуктивной зоне и всего лишь 7% этой площади может рассматриваться как высокопродуктивная. Именно эти районы, границы которых могут подвергаться существенным сезонным и многолетним изменениям, должны быть ареной деятельности рыболовного флота.

Если ко всему изложенному добавить, что подавляющее большинство промысловых объектов обитает в приповерхностном слое, толщина которого редко превышает 40—50 м, то становится очевидной реальная возможность получения из космоса информации о фактическом размещении косяков рыбы или же о факторах, благоприятствующих их скоплению, — температурном режиме поверхностных слоев океана, районах гидрологических «фронтов» — стыков водных масс, отличающихся температурой и соленостью, направлениями и границами океанических течений, зонах повышенной концентрации кормовых объектов — зоо- и фитопланктона. Наконец, очень важно знать распределение кромки льдов, интенсивность волнения, характеристику атмосферных процессов над океаном, размещение промысловых судов и др. Со спутника можно за один час «просмотреть» около 200—250 тыс. км<sup>2</sup> водной поверхности, для самого ориентировочного обследования которой одним судном понадобилось бы не менее года.

Такая информация позволит резко сократить площади обследуемых акваторий, уменьшить холостые переходы промысловых и транспортных судов, повысить эффективность и ритмичность работы добывающего и обрабатывающего флота. Все это по предварительным подсчетам дает возможность повысить общую результативность работы рыбопоисковых судов приблизительно на 20%, сэкономить сотни миллионов рублей.

Как показал многолетний опыт применения самолетов для авиаразведки рыбы, а также предварительный анализ получаемых уже теперь со спутников данных, весьма объемная и в высшей степени оперативная информация, необходимая для рыбной промышленности, характеризующая Мировой океан, может быть получена из космоса после проведения соответствующих исследований. Некоторые работы, связанные с изучением океана из космоса, проводились и во время полета космических кораблей «Союз».

Несомненно, что дальнейшие успехи советской космонавтики будут способствовать развитию и совершенствованию деятельности рыбной промышленности, этой крупной и важной отрасли нашего народного хозяйства.



*Ю. В. Курилова, П. А. Колосов, Л. К. Поплавская,  
Ю. С. Соколов*

## МЕТОДИКИ ДЕШИФРИРОВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Работа посвящена анализу различных методических подходов при исследовании динамики таяния снежного покрова по спутниковым данным и использованию получаемых параметров для целей моделирования весеннего половодья. Для анализа обрабатывались изображения, получаемые в безоблачных условиях с метеорологических спутников «Метеор», орбиты которых проходили над восточной частью европейской территории Союза (ЕТС) и Западной Сибирью (март, апрель 1972 г.) и обеспечивали повторность съема информации через 3—4 дня для всей территории исследуемых водосборов рек Дона, Волги и Оби.

При использовании информации с метеорологических спутников имелись в виду недостатки, снижающие качество телевизионных изображений и ограничивающие возможности их использования для точных количественных оценок. Самыми существенными недостатками являются неоднородность изображения по тону и невозможность абсолютных измерений яркости, что связано с отсутствием сенситометрического контроля и измерений эталона яркости.

Неоднородность различных кадров определяется в основном различными условиями фотографирования (взаимное расположение прибора, Солнца и объекта съемки) и условиями фотообработки. Проведение съемок в одно и то же или близкое время суток, как это имело место в анализируемой серии, в значительной мере снижает различия за счет высоты Солнца.

Отсутствие регистрации абсолютных значений яркости на изображениях метеорологических спутников значительно ограничивало возможности получения точных количественных оценок.

### МЕТОДИКИ СОСТАВЛЕНИЯ ФОТОМОНТАЖЕЙ

Для качественной и количественной оценки крупномасштабных гидрологических объектов с заданной точностью необходимо создание уточненных фотомонтажей больших территорий, привя-

занных к определенной проекции. Для создания таких фотомонтажей нужно предварительное фототрансформирование кадров с целью снятия перспективных искажений за угол наклона и кривизну Земли, присущих космической информации.

Для космической съемки, проводимой с больших высот, требуется разработка специальных приемов создания фотомонтажей, отличных от стандартных, применяющихся в аэрофототопографии. Сначала телевизионные снимки трансформировались, причем в качестве ориентиров использовались гидросеть или другие четкие наземные ориентиры.

Затем на световом столе составлялся фотомонтаж наложением трансформированных кадров на картографическую основу и ее совмещением с изображением гидросети или других ориентиров на отпечатках.

При трансформировании была выбрана прямая равнопромежуточная коническая проекция Красовского  $M 1 : 5\,000\,000$ . Фотомонтажи составлялись для восточной части ЕТС по данным одного витка. Использовалось 14 полукадров и трансформирование состояло из 28 отдельных установок.

Для улучшения качества фотомонтажей в процессе фотообработки обращалось особое внимание на выравнивание плотности по кадру и между кадрами по всему витку. Этого добивались выбором времени экспозиции, времени проявления и подбором фотобумаги.

Основа требований к точности привязки фотомонтажей — принятая точность расчета слоя стока весеннего половодья равнинных рек. По данным многолетних наблюдений в бассейне р. Дон (Паршин, 1969) установлено, что в пределах бассейна существуют такие оптимальные размеры элементарных водосборов, процессы весеннего половодья на которых развиваются одновременно. Слой стока, осредненный для достаточного числа таких элементарных водосборов (8—12), наилучшим образом коррелирует ( $r=0,99$ ) со слоем стока со всего бассейна Дона. При этом площадь каждого элементарного водосбора по оценкам В. Н. Паршина (1969) заключается в пределах 3—5 тыс. км<sup>2</sup>. Если площадь элементарного водосбора принять в среднем равной 4500 км<sup>2</sup>, то для определения части его площади, освободившейся от снега, с ошибкой, например, не более 6%, надо за элементарную информационную ячейку принять квадрат площадью 270 км<sup>2</sup>. При дешифрировании снимка со спутника «Метеор» такой ячейке можно присваивать только два состояния: белое (снежный покров) и черное (снег полностью стаял). Элементарные ячейки, следовательно, должны быть привязаны к картографической основе с ошибкой, не превышающей их характерный линейный размер (16,5×16,5 км).

Таким образом, максимально допустимое отклонение объекта на снимке от объекта на картографической основе равно 16,5 км для указанных размеров элементарных водосборов. На использованных в работе фотомонтажах и при разрешающей способности

снимков в подспутниковой точке 1,25 км указанное выше максимальное отклонение составит 3,29 мм.

Анализ ошибок на 9-ти фотомонтажах позволил сделать вывод о том, что полученная точность фотокарт различна для разных фаз снеготаяния. Причем наибольшая точность привязки 1,25 мм получена в середине периода снеготаяния, когда тающий снег подчеркивает наибольшее число земных объектов (ориентиров), в том числе гидрологических объектов. В начале снеготаяния, когда снежный покров перекрывает большинство ориентиров и особенно после стаивания снега, когда элементы рельефа теряют свою контрастность, эти погрешности больше (1,55—1,72 мм).

#### КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПРИЗНАКОВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Отсутствие эталона и невозможность получения абсолютных значений яркости заставляют при интерпретации телевизионных изображений со спутников «Метеор» обходить абсолютные показатели и опираться в основном на относительные величины, такие, как контрасты яркости на границах объектов и особенности рисунка фотоизображения. Эти особенности применительно к дешифрированию снежного покрова крупных водосборов учитываются комплексом основных дешифровочных признаков: тон, текстура, мезо- и макроструктура фотоизображения. Характер рисунка изображения определяется особенностями гидросети, рельефа, распределения растительности и почвы, а проявление рисунка на снимке зависит от размеров однородных участков и масштабов фотографирования. Так, крупномасштабные особенности рельефа или распределения растительности представляются на фотоизображении отдельными контурами и определяют особенности макроструктуры. Мелкомасштабные детали определяют особенности текстуры, а детали меньше элемента разрешения будут сказываться только на фототоне. Текстура и структура изображения при сохранении масштаба являются довольно устойчивыми признаками.

Заметные изменения текстуры изображения отмечаются только в период весеннего снеготаяния и могут быть использованы для оценки характера этого процесса. Фототон, напротив, не может считаться устойчивой характеристикой. Однако контрасты его довольно постоянны и ниже будут применены для определения границ снежного покрова.

Для классификации телевизионных изображений со спутников было просмотрено большое количество кадров заснеженных поверхностей для водосборов Волги, Дона, Оби и ряда других рек ЕТС. При изучении подстилающих поверхностей, покрытых снегом, использовался опыт классификации типичных телевизионных изображений, проведенной ранее для целей автоматического опознация форм облачности (Сонечкин, 1968).

При уточнении классификации придерживались оптико-геометрической классификации (Богомолов, 1972), учитывающей как элементы геометрических черт, так и генетические признаки. При этом из четырех групп, на которые Богомолов подразделяет по оптическим свойствам природно-территориальные комплексы: однородные, бесструктурные; размытые с неопределенной текстурой; резкие с четко выраженной упорядоченной текстурой; резкие с четко выраженной неупорядоченной текстурой; наибольший интерес представляет предпоследняя.

Упорядоченной структурой, как правило, отличаются объемные природно-территориальные комплексы (ПТК), к которым относятся лес, бугристая поверхность, населенные пункты.

Для подстилающих поверхностей, покрытых снегом, были установлены следующие типичные текстуры: матовая, зернистая и дендритовая. Дополнительно для характеристики мезомасштабных черт были введены дендритовая и пятнистая мезоструктуры. Каталог типичных изображений заснеженных поверхностей классифицирует их не только по текстуре и мезоструктуре, но и по яркости.

Матовая текстура присуща пятнам блика, сплошному снежному покрову, ледовому покрову, сильно увлажненным участкам и водным поверхностям (Курилова, Поплавская, 1976).

Зернистая текстура представляет собой скопление светлых или темных пятен на соответствующем фоне. Эта текстура характерна для заснеженных возвышенностей без древесной растительности, где зерна создаются тенями и высвечиванием вершин и неровностей, а также для мелкомасштабных неоднородностей лесных покровов. Разные типы лесных покрытий и различной степени сплоченности имеют разную текстуру и фототон.

Наиболее интересна мелкозернистая текстура. Так, мелкие черные зерна в районе Северного Прикаспия показывают локальное протаивание на экспонированных к солнцу склонах.

Дендритовый рисунок также обладает резко выраженной упорядоченной текстурой. Она представлена в двух вариантах. Наиболее типичной формой является изображение покрытых снегом гор. На невысоких возвышенностях, типа Средне-Русской, дендритовая текстура появляется только в период снеготаяния. В таких районах динамика текстуры, т. е. изменение ее от одного типа к другому, может указывать на процесс снеготаяния.

Разновидность дендритовой мезоструктуры создают речные долины, имеющие игую тональную или цветовую окраску по сравнению с окружающим фоном (песок, туман, лед и т. п.). Характерный дендритовый рисунок образуют зимой болота Васюганья с елово-кедрово-пихтовыми лесами на водоразделах.

Особый интерес для изучения снежного покрова на водосборе в период таяния представляет введенная нами пятнистая мезоструктура в виде светлых пятен с нечеткими краями на темном фоне, которая, согласно классификации Богомолова, относится к размытым неупорядоченным структурам.

Пятнистая мезоструктура может характеризовать также ПТК с четкой неупорядоченной структурой (замкнутые водоемы, болота, засоленные участки и мезомасштабные неоднородности лесной растительности).

На основе повторных телевизионных изображений водосборов Дона и Волги в период снеготаяния (март — апрель 1972 г.) изучались изменения или динамика текстур в период таяния. Разнообразие ПТК в пределах огромного водосбора Волги сильно усложняет решение этой задачи. Ниже рассматриваются различные примеры динамики текстур изображений в зависимости от стадий снеготаяния, дифференцированно для различных типов рельефа (табл. 1).

Таблица 1

Динамика текстур в период снеготаяния для разных природно-территориальных комплексов

	Текстура		
	Сплошной снежный покров	Таяние	Сход снега
Донские степи	матовая белая	зернистая	матовая черная
Прикаспийские степи	»	»	»
Невысокая Ергене-Волжская возвышенность	»	пятнистая	»
Средне-Русская возвышенность	»	дендритовая	»
Широколиственно-хвойные леса	зернистая с белыми зернами	уменьшенные зера	»

На водосборе Дона и южной части водосбора Волги, где отсутствует лесная растительность, изучалось влияние микрорельефа на изменение текстуры заснеженных поверхностей в период таяния. Для безлесных Донских степей с равнинным рельефом характерно быстрое таяние снежного покрова с переходом от белой матовой текстуры сплошного снега к черной матовой текстуре увлажненных степей. Для невысокой Ергене-Волжской возвышенности в период таяния текстура переходит от белой матовой к черной через пятнистую. Иной характер динамики текстуры отмечается в Прикаспийских степях. Здесь уже с начала марта матовая текстура начинает заменяться зернистой с четко выраженными черными зернами проталин на экспонированных к солнцу склонах бугристой местности. Характерно, что зернистая текстура распространяется на северо-восток по мере повышения температуры подстилающей поверхности, регистрируемого на ИК-снимках со спутников.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ЗОН  
НЕСПЛОШНОГО СНЕЖНОГО ПОКРОВА  
ПО ДАННЫМ СО СПУТНИКОВ

Устойчивым дешифровочным признаком при анализе снежного покрова можно считать контрасты фототона. Контрасты на границе снег — бесснежная поверхность (кроме раздела снег — облака) настолько велики, что позволяют провести четкую границу снежного покрова на всех кадрах, несмотря на несравнимость их по фототону. Существенную трудность при проведении границ снежного покрова в условиях несплошной облачности представляет различение облаков от снежной поверхности, поскольку оба объекта характеризуются высоким альбедо в видимом диапазоне спектра. Для отделения снега от облаков используются три дополнительных признака, связанные со свойствами облаков.

Первым признаком, указывающим на отсутствие облачности, является обнаружение на снимке земных ориентиров характерного внешнего вида (гидрологические объекты, границы между зелеными и незалесенными районами, горный рельеф, покрытый снегом).

Второй признак — сохранение в течение нескольких дней одних и тех же объектов — основан на свойстве облачности быстро изменять свои формы и перемещаться в пространстве.

Третий признак сводится к различным чертам внешнего вида. Здесь имеются в виду как специфичные крупномасштабные черты облачности, так и различия текстур, присущие облакам и снегу. Например, волокнистая текстура присуща только облакам, а дендритовая — только снегу.

При определенных условиях освещения рисунок теней от облаков часто бывает основным признаком для распознавания облаков на фоне снега и льда.

Практически граница снеготаяния не является линией, а составляет широкую переходную полосу, которая на фотоизображении выделяется двумя границами: границей тыла снеготаяния и границей сплошного залегания снежного покрова.

Процесс таяния снежного покрова предполагается изучать дистанционными методами по изменению границ зоны несплошного снежного покрова и изменениям температур, определяющих закономерности таяния. Граница тыла снеготаяния на фотоизображениях проводится однозначно как граница черного фототона. Проведение границы зоны несплошного снежного покрова в степной полосе водосбора Дона также не представляет труда и сводится к простому отделению белого фототона от пятнистой, зернистой и дендритовой текстур переходной зоны.

Граница сплошного снежного покрова в лесистых районах водосбора Волги устанавливалась на основе сравнения с фотомонтажами за более ранние сроки, как линия, отделяющая области неизменного рисунка текстур от областей полного или частичного

Таблица 2

Распределение высот снежного покрова ( $h$ ), покрытости ( $p$ ) и запасов воды в снеге ( $q$ ) для зон различного фототона

$h, p, q$	Тон		
	черный	пятнистый	белый
$h$ , см			
0	52	16	—
1—3	5	43	—
4—6	—	24	6
7—9	—	4	9
10—12	—	7	9
13—15	—	3	16
16	—	1	9
$p$ , баллы			
0	52	13	1
1—2	6	8	—
3—4	—	6	—
5—6	1	15	—
7—8	—	26	—
9—10	1	18	35
$q$ , мм			
0—20	—	26	7
21—30	—	7	7
31—40	—	3	10
40	—	—	7

исчезновения белых вкраплений, соответствующих безлесным заснеженным участкам.

Таким образом, по телевизионным изображениям с помощью этих границ вся анализируемая территория легко разделяется на три зоны: зону сплошного таяния (черный фототон), зону сплошного снежного покрова (белый фототон в безлесных районах и устойчивый во времени рисунок в лесных) и расположенную между ними полосу несплошного снежного покрова (серый фототон с пятнистой текстурой, переменной во времени).

Дальнейшее изучение закономерностей снеготаяния сводится к анализу изменений в текстуре (Курилова, Поплавская, 1976). Характерно, что для указанных зон различных фототонов существует достаточно четкое разделение как по покрытости в баллах и глубине снежного покрова, так и по величине водозапаса в нем (табл. 2). В зоне черного фототона, соответствующей растаявшему снегу, 52 наземные станции указывают, что снег стаял и лишь 5 станций отмечают снег с толщиной, не превосходящей 3 см при

Таблица 3

Средние отклонения спутниковой границы от нулевой изолинии на картах снежного покрова

Спутниковая граница снега	Граница с оперативных наземных карт		Уточненная граница по оперативным и ТВ-данным	
	отклонение, км	число случаев	отклонение, км	число случаев
Южнее нулевой изолинии	31	14	6	14
Севернее нулевой изолинии	42	14	5	12
Средние отклонения без учета знака (по модулю)	35	28	6	26

покрытости не более 2 баллов. В зоне сплошного снежного покрова, т. е. внутри контуров с белым фототонном, станции регистрируют снежный покров от 4 до 27 см, причем максимум приходится на толщины 13—15 см. При этом характерно, что в этой зоне практически все станции указывают 10-балльную покрытость. Для зоны несплошного снежного покрова большинство измерений относится к толщинам до 6 см, хотя, наряду с этим, встречаются отдельные пункты как с растаявшим снегом, так и со слоем снега до 15 см. Причем, те из станций, где толщина менялась от 5 до 10 см, располагались ближе к границе сплошного снежного массива, а станции с меньшими толщинами (0—5 см) — к границе тыла снеготаяния.

Распределение водозапаса также достаточно четко различается в трех указанных зонах фототона. В зоне стаявшего снега (черный фототон) водозапас, естественно, равен нулю. В зоне несплошного снежного покрова в 70% станций водозапас не превышал 20 мм. В зоне сплошного снежного покрова водозапас распределяется почти равномерно по диапазону значений от 1 до 50 мм. При общем соответствии тона фотозображения измерениям наземных станций имеются отдельные отклонения в области очень малых толщин (1—3 см) и покрытий до 2 баллов, которые могут быть связаны, например, с нерепрезентативностью станций из-за особенностей рельефа.

Достоверность проведения границы тыла снеготаяния по спутниковым данным оценивалась сравнением ее с границей снега на картах высоты и водозапаса, построенных по обычным наземным наблюдениям. Для этого в узлах 1-градусной сетки снимались разности значений между границей, полученной со спутника, и нулевой изолинией с карты высот снежного покрова. Среднее по модулю отклонение спутниковой границы от наземной составило

35 км (табл. 3). Характерно, что эта оценка точно совпадает с полученными ранее 2 морскими милями по данным американского спутника ESSA (Barnes, Bowley, 1968).

Отклонения спутниковой границы в сторону завышения спутниковых площадей составили 31 км, а в сторону занижения — 42 км. Последнее указывает на случайный характер отклонения границ.

Кроме указанной выше была проведена еще одна оценка точности сравнением спутниковой границы с уточненной наземной. Уточнение наземной границы нулевой толщины снежного покрова проводилось посредством анализа данных наземных станций совместно с информацией со спутников, что позволяет считать этот способ проведения границ более объективным. Повторное сравнение значений в узлах 1-градусной сетки дало намного меньшую величину среднего по модулю отклонения — 6 км.

При указанной точности определения границ минимальные абсолютные погрешности расчета площадей составляют 40 км<sup>2</sup>. Для принятых в гидрологии относительных погрешностей определения площадей 10% по спутниковым данным могут быть изучены водосборы с площадями от 400 км<sup>2</sup> и более.

### *Анализ процесса снеготаяния*

Опираясь на достаточно хорошо изученные в настоящее время по данным метеорологических спутников формы облачных систем циклонов, по полученным фотомонтажам можно судить о прохождении циклонов и их фронтов, определяющих накопление и таяние снега в весенний период.

Анализ циклонической деятельности по ТВ- и ИК-изображениям совместно с данными о температурном режиме в период снеготаяния показал, что ведущую роль в определении темпов и фаз снеготаяния играют связанные с циркуляцией атмосферы изменения температуры (рис. 1, 2). Так, на фотомонтажах были выделены обширные облачные системы 10–12 марта 1972 г. над южными районами ЕТС (рис. 2), с которыми связано резкое сокращение стаявших площадей и образование масс свежевывавшего снега в районе Северного Кавказа. В то же время циклон, пришедший с Атлантики 13 марта, вызвал сильное адвективное повышение температуры от  $-6 \div -7^\circ$  до  $+4 \div +5^\circ$  в течение одних суток (рис. 1). С этим переходом температуры через нуль связана следующая активная фаза снеготаяния, ход которой можно достаточно детально проследить по фотомонтажам и схемам за 14, 15, 16 марта (рис. 2, г, д, е). Последующая замедленная фаза снеготаяния определялась медленным уменьшением температуры 16–18 марта до  $-3^\circ$ , в связи с чем в эти дни продвижение на север границы сплошного снежного покрова и тыла снеготаяния замедлилось. С новым повышением температуры к 20 марта граница несплошного снежного покрова начинает продвигаться дальше на север,

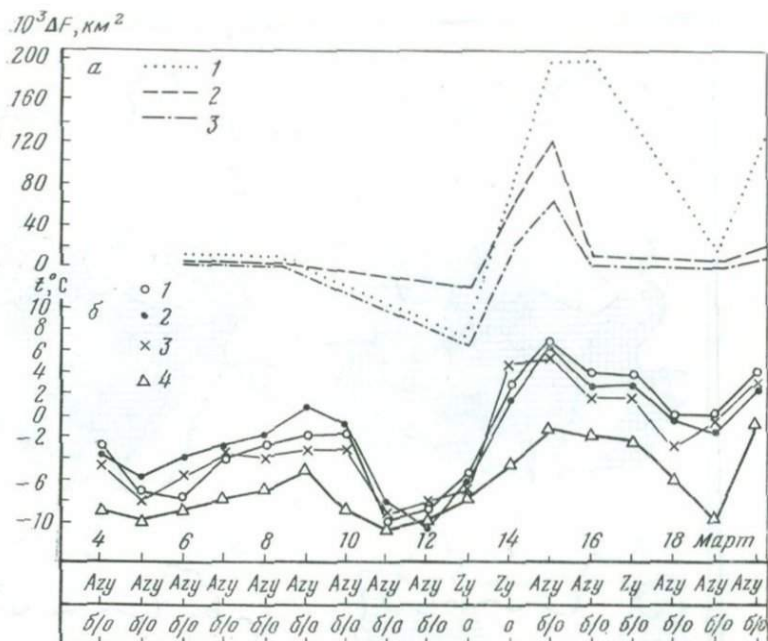


Рис. 1. Суточные изменения площадей стаявшего снежного покрова (а) и осредненных по площади температур (б) в марте 1972 г.

а — доли бассейна, освободившегося от: 1 — несплошного снега к стаявшим площадям; 2 — сплошного снега к несплошному; 3 — от сплошного снега к стаявшим площадям; б: 1 — бассейна р. Дон; 2 — прикаспийских степей; 3 — средней Волги; 4 — бассейна р. Урал; Азы — антициклон; Zy — циклон; б/о — безоблачно; о — облага

образуя узкую полосу, ориентированную с северо-запада на юго-восток (рис. 2, ж, з).

В связи с очевидной ролью температурного режима в процессе снеготаяния ИК-информация может оказаться полезной для оценки крупномасштабных фоновых особенностей температурных полей. Даже при разрешении 15 км на местности ИК-изображения с метеорологических спутников ввиду пространственной непрерывности полей могут дать больше деталей, чем измерения температур на наземных станциях, поскольку последние расположены на расстояниях, значительно превышающих 15 км. В настоящей работе ИК-изображения использовались для выделения пространственных неоднородностей в полях температур и подчеркивания их аномалий.

Особенно наглядно аномалии температур, как положительные, так и отрицательные, выделяются при обработке малоконтрастных ИК-изображений методом квантования по фототонам, предложенным на кафедре аэрофотосъемки МИИГАиК В. О. Кершой. При квантовании по темному тону выделяются теплые

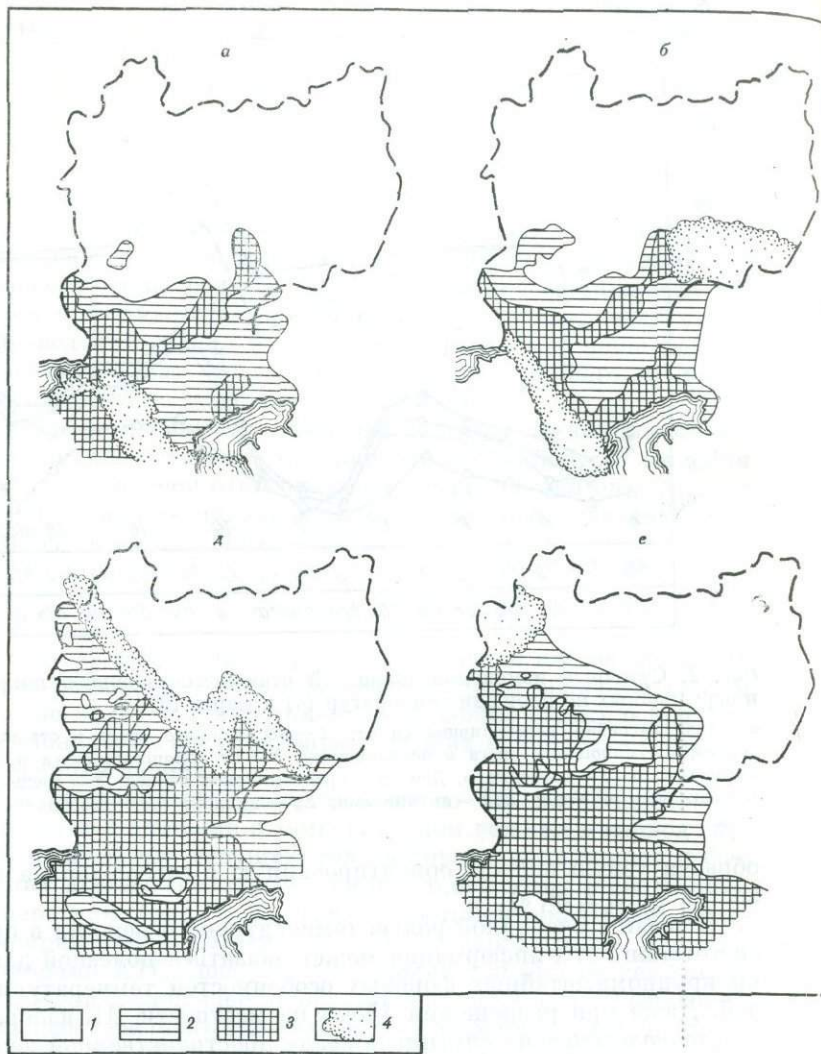
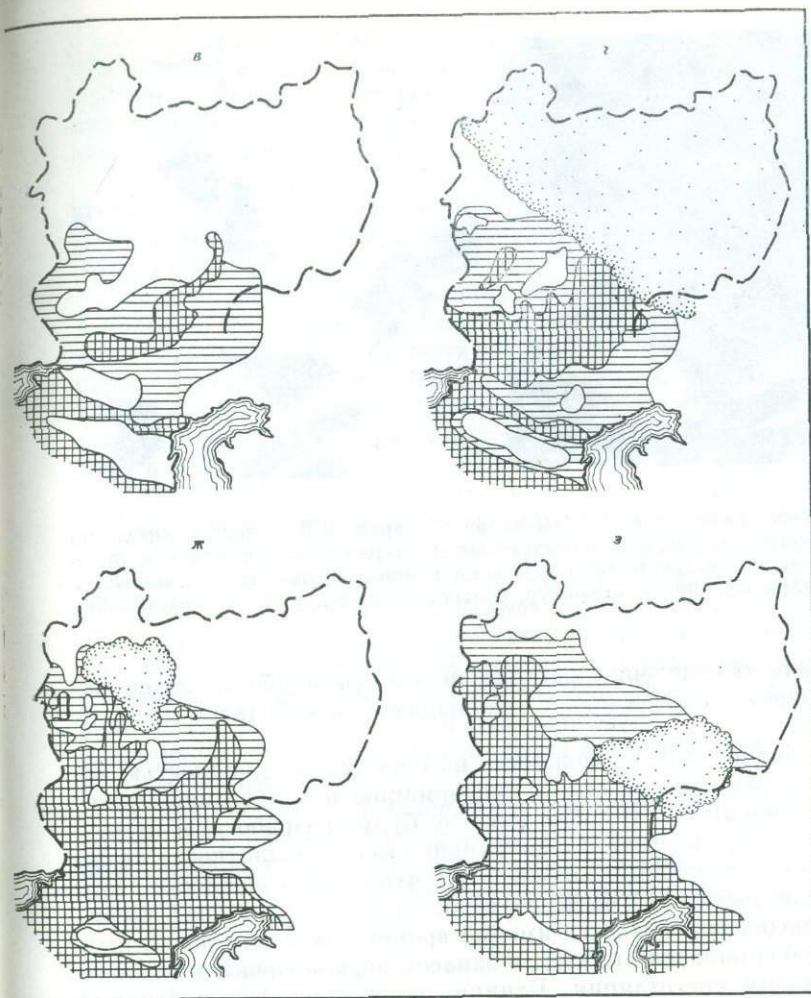


Рис. 2. Схема распределения границы тыла снеготаяния и границы сплошного снежного покрова, в пределах водосборов Волги и Дона, составленные по фотомонтажам за 4 (а), 8 (б), 13 (в), 14 (г), 15 (д), 16 (е), 19 (ж) и 20 (з) марта 1972 г.

1 — сплошной снежный покров; 2 — несплошной снежный покров; 3 — области стаявшего снега; 4 — облака

области раннего протаивания (Средняя Волга, придонские и прикаспийские степи) (рис. 3, б). При квантовании по светлому тону выделяются отрицательные аномалии температур, соответствующие участкам с устойчивым снежным покровом (бассейны рек Урала, Хопра) (рис. 3, а).



Появление на будущих спутниках точной количественной информации в ИК-диапазоне значительно расширит возможности изучения процесса снеготаяния одновременно на обширных территориях.

#### ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ РАСХОДА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ ОТ ДОЛИ ПЛОЩАДИ БАСЕЙНА, ОСВОБОДИВШЕЙСЯ ОТ СНЕГА

Величинами, наиболее эффективно определяемыми по спутниковым изображениям, являются площади, в данном случае площади, покрытые снегом или освобожденные от него. В связи с



Рис. 3. ИК-изображения с ИСЗ «Метеор» 14 марта 1972 г., квантованные по светлоте фототону, выделяющему области сохранившегося снега и ледового покрова на севере Каспия (а), и по темному фототону (б), выделяющие аномалии высоких температур, соответствующих участкам растаявшего снега

этим задача определения расхода половодья наиболее легко решается через корреляцию с площадями, освободившимися от снега.

Такой подход дает возможность на первом этапе полностью исключить из расчетов наземную информацию и будет иметь существенное значение до тех пор, пока не будут разработаны надежные методы определения со спутников высоты и плотности снежного покрова. Наконец, следует отметить особую важность этого подхода для достаточно больших водосборов, где гидрограф весеннего половодья определяется именно временным ходом долей площади, освободившейся от снега, и запасом воды в снежном покрове перед началом снеготаяния. Влияние слоя стаявшего снега для таких водосборов будет незначительным.

В целях проверки высказанных предположений было проведено измерение по данным спутниковых изображений площадей, освободившихся от снега, для 5 водосборов: Северский Донец (Лисичанск), Дон (Георгиев-Деж), Хопер (Новохоперск), Медведица (Арчединская), Оскол (Купянск). Расчеты проводились на электронном планиметре для 6, 12, 14, 15, 16, 19 и 20 марта 1972 г. Полученные графики хода во времени долей площадей были сопоставлены с гидрографами весеннего половодья в замыкающих створах рассматриваемых водосборов, выраженных в долях  $Q_{\max}$ .

Для всех водосборов была обнаружена близкая к функциональной связь  $Q_{\max} \% = f(F_{\text{ст}}) \%$  при различном для каждого бассейна времени запаздывания  $\tau$ , меняющемся от 5 до 18 дней. Эту связь можно использовать особенно при больших значениях

т для прогноза в первом приближении гидрографа весеннего половодья по данным о динамике таяния снежного покрова. Дальнейшее уточнение связи такого рода возможно лишь при появлении информации с тоновым клином, позволяющим получить абсолютные значения яркостей.

Для прогнозирования гидрографа в абсолютных величинах потребуется значение запаса воды в снежном покрове в начале снеготаяния, возможности оценки которого по дистанционным данным будут рассмотрены ниже.

Прямых способов определения со спутников высоты снежного покрова и его плотности, необходимых для расчета водозапаса, пока, как известно, не существует. Поэтому нами предпринята попытка установления корреляционных связей, с одной стороны, между высотой снежного покрова и яркостью его на фотоизображениях, и с другой — между высотой снежного покрова и запасом воды в нем.

Для определения второй зависимости по данным снегомерных наблюдений в бассейне Дона были построены графики  $q=f(h)$  за 5, 10, 15 и 20 марта 1972 г. Связь высоты снежного покрова (в миллиметрах) с запасами воды (в сантиметрах) в нем по этим данным оказалась достаточно тесной, причем разброс точек на графике определялся, как и следовало ожидать, различной плотностью снежного покрова при одинаковой его высоте и увеличивался по мере удаления от момента начала снеготаяния. Для каждой из рассмотренных дат удалось провести одну прямую  $q=f(h)$ , наклон к оси  $q$  увеличивается с развитием процесса снеготаяния, т. е. в зависимости от его фазы.

В диагностическом варианте начальный запас воды в снеге может быть оценен, исходя из предположения о пропорциональности изменений запасов воды в снеге изменениям площадей. Запас воды в снеге  $W_{сн}$ , следовательно, может быть определен по формуле:

$$W_{сн} = \Sigma(F_{i+1} - F_i) k(F), \quad (1)$$

где  $F_{i+1}$  и  $F_i$  — площади стаявшего снега за последовательные промежутки времени;  $k(F)$  — коэффициент, описывающий интенсивность снеготаяния. Величина изменения площади стаявшего снега  $\Delta F$  интегрально характеризует интенсивность снеготаяния за определенный промежуток времени. Поэтому можно положить  $k \sim \Delta F$ . Временной ход величин  $\Delta F$ , полученных по данным метеорологических спутников, хорошо согласуется с временным ходом средних температур, определяющих интенсивность снеготаяния (рис. 1). Таким образом, запас воды в снеге выражается следующей формулой:

$$W = k \sum_{i=1}^n (F_{i+1} - F_i)^2. \quad (2)$$

Коэффициенты  $k$  были рассчитаны авторами по наземным данным о запасах воды в снеге и спутниковым данным о динамике стаявших площадей для ряда водосборов степной зоны ЕТС площадью порядка нескольких десятков тысяч квадратных километров. Коэффициенты  $k$  изменялись в пределах порядка, закономерно возрастающая в направлении на северо-восток. По-видимому, такое пространственное распределение  $k$  обусловлено физико-географической зональностью распределения характеристик подстилающей поверхности и радиационного баланса, а также влиянием циркуляционных факторов.

Исходя из сказанного, применение дистанционного метода определения запасов воды в снежном покрове возможно на основе районирования величины  $k$ .

Наиболее физически обоснованным методом расчета весеннего половодья явилось бы построение математической модели с дистанционно определяемыми параметрами.

Г. П. Калинин (1974) была предложена следующая модель расчета гидрографа такого стока, специально предназначенная для использования дистанционной информации,

$$Q(t) = \int_0^{t-\tau_{\max}} \eta F(t-\tau) i(t-\tau) P(\tau) d\tau, \quad (3)$$

где  $\eta$  — коэффициент стока весеннего половодья,  $F(t)$  — временной ход площади бассейна, освободившейся от снега,  $i(t)$  — временной ход интенсивности снеготаяния,  $P(\tau)$  — функция влияния, преобразующая поступающую на поверхность бассейна воду в результате таяния ( $\eta Fi$ ) в сток через замыкающий створ этого бассейна  $Q(t)$ .

Оценка параметра  $F(t)$  может производиться по спутниковым фотографиям, как было показано при изучении динамики таяния снежного покрова. Коэффициент  $\eta$ , зависящий от осеннего увлажнения почвы и промерзания ее зимой, может быть определен с привлечением ИК-информации. Авторами был вычислен коэффициент стока, представляющий собой отношение слоя талого стока к объемам воды в снеге  $\eta = \frac{y}{W_{\text{сн}}}$ , рассчитанный указанным выше диагностическим способом. Полученные величины  $\eta$  коррелировались со значениями величин осеннего стока. Последний является показателем осеннего увлажнения почв, которое, в свою очередь, определяет переменную часть коэффициента стока. С учетом типов почв этот коэффициент корреляции оказался равным 0,9.

Интенсивность снеготаяния  $i(t)$ , зависящую от температуры воздуха, целесообразно определять, используя корреляционную связь между скоростью изменения доли площади бассейна, освободившейся от снега, и временным ходом температуры воздуха данного района. Функция влияния нуждается в дополнительном исследовании, так как ее вид вероятно зависит от гидрометеоро-

логических условий, наблюдавшихся осенью перед установлением устойчивого снежного покрова и весной во время снеготаяния.

Показанные возможности дистанционной оценки параметров уравнения (3) при дальнейшем их обосновании позволят получить сток в замыкающем створе, обходя регулярные измерения запасов воды в снеге и ограничиваясь только разовым измерением его в момент максимального накопления, например, по данным самолетной гамма-съемки.

Таким образом, проведенные предварительные исследования показывают, что даже по данным метеорологических спутников возможно определять границу тыла снеготаяния и делать оценки доли стаявшего снега на водосборах с площадями более 400 км<sup>2</sup>. Определение фронта снеготаяния по дистанционным данным окажется возможным с появлением дополнительной информации в близком ИК-участке спектра.

Для дальнейшего улучшения и обоснования показанных в работе корреляций потребуются совершенствование аппаратуры в смысле введения сенситометрического контроля для ТВ- и ИК-информации и повышения ее разрешающей способности.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Богомолов Л. А.* Принципы классификации природно-территориальных комплексов по текстуре аэрофотозображений и методы их исследований для целей аэрофотосъемки.— В сб. Аэрометоды географических исследований. М., Изд-во Географ. об-ва, 1972.
- Калинин Г. П.* От аэрокосмических снимков к прогнозам и расчетам стока. Л., Гидрометеоздат, 1974.
- Курилова Ю. В., Поплавская Л. К.* Дешифровочные признаки снежного покрова в период его таяния по данным метеорологических спутников.— Тр. IV Всесоюз. гидрологич. съезда, т. 2. Водные ресурсы и водный баланс. Л., Гидрометеоздат, 1976.
- Паршин В. П.* О статической структуре поля слоя стока за половодье.— Метеорология и гидрология, 1969, № 9.
- Сопечкин Д. М.* Классификация типов телевизионных изображений облачности и земной поверхности, получаемых со спутников экспериментальной системы «Метеор».— Метеорология и гидрология, 1968, № 9.
- Barnes J. C., Bowley C. J.* Operational Guide for Mapping Snow Cover from Satellite Photography. Allied Res. Assoc. Mc Virginia Road, Concord, Massachusetts, 1968, May.



## КОСМИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Одним из актуальных вопросов охраны природной среды является разработка методов слежения за антропогенными изменениями ландшафтов с целью их охраны и постоянного контроля (Мильков, 1973; Исаченко, 1974). Большой вклад в этом отношении могут внести наблюдения Земли из космоса (Wobber, 1970; Виноградов, 1971; Кондратьев и др., 1973). Анализ разнотипных космических изображений Земли, полученных с разных космических носителей в видимой, ближней, средней и дальней ИК-областях спектра, а также многоспектральных снимков показал возможность их использования в следующих аспектах: 1) для изучения первично или собственно антропогенных явлений, элементов ландшафта, связанных непосредственно с деятельностью человека — различных промышленных сооружений, населенных пунктов, транспортных систем и т. д.; 2) для изучения вторичных антропогенных изменений природной среды (загрязнения вод, засоления земель и т. д.).

Если для идентификации первичных явлений необходим сравнительно простой комплекс дешифровочных признаков, как правило, прямых, то опознавание вторичных явлений большей частью производится использованием как прямых, так и косвенных признаков различного рода, часто, сложных индикаторов. Космические снимки используются для изучения антропогенных изменений природной среды разной степени давности — как старых, давно прошедших, так и современных. По снимкам возможно получение информации о локализации, пространственном распространении и размерах явлений, радиусе антропогенных воздействий, их динамике, скорости, периодичности и изменчивости проявления во времени.

Важнейшей особенностью использования космических изображений является возможность изучения антропогенных явлений в крупных — региональном и глобальном масштабах (в том числе гигантских ветровых пылепесчаных образований, дымовых облаков), весьма трудно реализуемая обычными методами наблюдений, возможность выявления влияния антропогенных воздействий на структуру природных образований.

Все перечисленное в свою очередь облегчает прогноз последствий некоторых видов антропогенной деятельности, активно влияющих на облик ландшафта, позволяет более точно оценить полезный или вредный вклад антропогенных нарушений природы.

Следует отметить следующие наиболее важные направления использования космических изображений: 1) изучение дымовых загрязнений атмосферы от промышленных центров и пожаров;



*Рис. 1.* Космическая фотография Месопотамской низменности и смежных пустынь, полученная с ПКК «Союз-9»

1, 3 — зарегулированные озера Эль-Хаббания и Эль-Мильх; 2 — водохранилище Милет Тартар, созданное на днище сезонно существовавшего озера; 4 — каналы Маджарра; 5 — интенсивно освоенные орошаемые земли; 6, 7 — средне-, слабоосвоенные земли соответственно; 8 — богарные земли

2) оценка антропогенных загрязнений акваторий; 3) слежение за возникновением, развитием и распространением пылевых бурь, в той или иной степени антропогенно обусловленных; 4) выявление изменений характера и тенденций развития землепользования (распаханности, развития населенных пунктов, транспортной сети и т. д.); 5) изучение изменений гидрографической сети (каналы, водохранилища и т. д.— рис. 1); 6) изучение связанных с деятельностью человека вариаций излучательных и отражательных характеристик Земли в целом и отдельных ее регионов.

Рассмотрим некоторые примеры антропогенных воздействий на природную среду, изученных по космическим изображениям. Заметим при этом, что получение подобной информации о них в региональном и глобальном масштабе обычными методами наблюдений во многих случаях невозможно или затруднительно.

Пыльные бури — один из мощных источников загрязнения атмосферы. Как известно, одним из условий их возникновения является разреженность растительного покрова, которая в ряде случаев обусловлена антропогенными нарушениями ландшафта — как в отдаленном, так и недалеком прошлом. В этом смысле в определенной степени можно говорить об антропогенном генезисе многих пыльных бурь. Классическим примером являются пыльные бури в США, заметное увеличение развития которых связывается с деятельностью человека.

Наблюдения из космоса позволили получить новую информацию о распространении, размерах, динамике пыльных бурь, их связи с подстилающей поверхностью — рельефом, составом грунтов и т. д. (Григорьев, Липатов, 1974). Проблема изучения развития пыльных бурь тесно связана с проблемой десертификации территории. В настоящее время известны многие случаи современной десертификации ландшафта, возникшей вследствие бесхозяйственной деятельности человека, отчетливо прослеживаемые по космическим снимкам.

Так, в частности, на космических снимках с КК «Джемини-7» и ЕРТС-1 в северной части Синайского полуострова, в Средиземноморской полосе шириной около 50 км хорошо заметны различия в землепользовании территории по обе стороны от линии Рафах — Ницана (Otterman и др., 1974). Как показывает анализ физико-географических карт, в обоих случаях по обе стороны от этой линии господствует песчаная пустыня Негев, однако, к юго-западу от упомянутой линии в хозяйственном использовании ландшафта преобладает непланируемое стихийное пастбищное хозяйство, естественная саксауловая, кустарниковая и полукустарниковая растительность сильно выбита, что и вызывает перевевание песков, десертификацию территории. К северо-востоку, напротив, земли интенсивно культивируются, в сельском хозяйстве господствует поливное земледелие, в результате чего наблюдается отступление пустыни.

На космических снимках опустыненная территория изображается очень светлым тоном, сильно контрастирующим с темновато-серым тоном изображения культивируемой части пустыни. Следует отметить, что районы пустынь, которые подвержены интенсивному бесхозяйственному освоению (подобно выше отмеченному), могут явиться очагами десертификации окружающего ландшафта. Этому немало способствует развитие в таких районах пыльных бурь, в результате которых на участках с выбитой или слабозакрепленной растительностью происходит дефляция поверхностных отложений. Судя по космическим снимкам, таким районом, где возникают пыльные бури, в частности и является пустыня Негев к юго-западу от упомянутой границы.

В еще большей степени десертификация территории в настоя-

щее время развита на юге Сахары, в широтно вытянутой полосе от оз. Чад р. Нигер и далее на запад, в пределах опустыненной саванны. Это вызвано, главным образом, интенсивным вытаптыванием естественного растительного покрова сельскохозяйственными животными. В подобных условиях широко развитые здесь пыльные бури в еще большей степени способствуют опустыниванию ландшафта.

## ДЫМОВЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Дымовые загрязнения атмосферы в своем большинстве имеют антропогенный генезис. Сюда относятся думы от промышленных предприятий, транспорта, значительная часть дымов от пожаров (угольных выработок, лесных, травяных, болотных), а также связанная с ними дымка. Некоторые данные о дешифрировании всех этих явлений были приведены нами ранее (Кондратьев, Григорьев и др., 1974). По космическим снимкам возможна локализация источников дыма (предприятий, горящих участков леса, болот), изучение структуры, динамики и пространственного распространения дымовых загрязнений. Остановимся на некоторых примерах дешифрирования лесных и болотных пожаров и дымки от промышленных предприятий.

Летом 1971 и 1972 гг. многочисленные лесные и болотные пожары возникли на трех континентах — в Северной Америке, в Европе и Северной Азии. Только глядя из космоса, удалось наиболее полно оценить масштабы этих пожаров — одновременное распространение их на огромной площади, загрязнение атмосферы в региональном масштабе. В этом отношении особенно полезны ТВ-снимки с метеорологических ИСЗ. На рис. 2 зафиксированы пожары, возникшие в центре Русской равнины в засушливое лето 1972 г. Отчетливо дифференцируется не менее 12 крупных очагов пожаров, маркируемых дымовыми факелами, просматриваются только те очаги, которые не скрыты дымом. Все очаги пожаров располагаются цепочкой, вытянутой от Рязани до Чебоксар на протяжении около 500 км вдоль большой дуги, естественного рубежа, образованного долинами рек Оки и Волги. Пожарами охвачены болота и леса вдоль левобережья р. Оки и правобережья р. Волги выше устья р. Оки вдоль границы лесной и лесостепной (леса которой в значительной степени вырублены) зон. Дымовые шлейфы от отдельных очагов пожаров протягиваются на расстояние от 150 до 500 км; они отчетливо заметны на ТВ-снимке в виде очень светлых языков шириной не менее 10–15 км. Затем думы от отдельных пожаров сливаются вместе, образуя обширное дымовое облако, без видимой на ТВ-снимке структуры, характеризующееся меньшим альбедо и выделяющееся менее светлым тоном изображения.

Думы от болотных и лесных пожаров были вовлечены в тропосферную циркуляцию (по данным В. Б. Липатова), в результате



Рис. 2. Фрагмент ТВ-снимка лесных и болотных пожаров, полученный с «Метеора» 10 августа 1972 г. М~1: 7 500 000

1 — дымовые шлейфы от пожаров лесов и болот; 2 — облачность

которой образовался гигантский дымовой шлейф субконтинентального протяжения — длиной около 6000 км и шириной 100—300 км (рис. 3). Шлейф протягивается через большую часть Восточной Европы, следуя сначала от очагов пожаров на северо-восток, достигая р. Печоры, затем поворачивает на юг вдоль Уральского хребта до Мугоджар, далее продолжается в Азии в восточном направлении до Семипалатинска и, наконец, заканчивается у оз. Балхаш. Судя по ТВ-снимку, распространение дымового шлейфа (и, таким образом, тропосферной циркуляции), развивающегося на высотах порядка 10—11 км, в определенной мере коррелирует с макроочертаниями рельефа. В частности, шлейф следует вдоль Уральского хребта, к северу от возвышенностей Центрального Казахского мелкосопочника, которые он огибает с востока и юга; боковой язык основного шлейфа протягивается от Целинограда на юго-запад в коридоре между возвышенностями мелкосопочника.

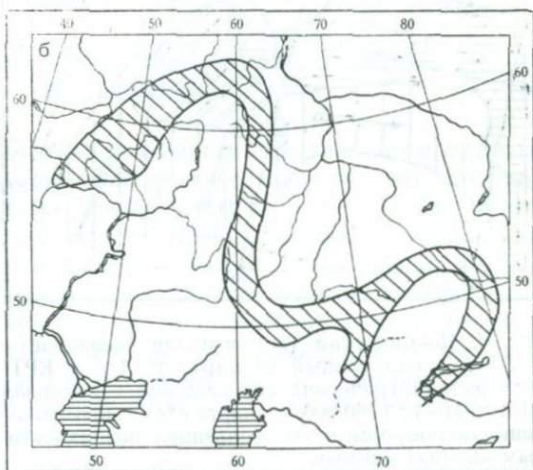


Рис. 3. Фрагмент ТВ-снимка с ESSA-8 (а) 27 августа 1972 г.  $M \sim 1 : 15\,000\,000$  и карта схема распространения дымового шлейфа субконтинентального протяжения, возникшего в результате вовлечения в тропосферную циркуляцию дымов от лесных и болотных пожаров (б), составленная по этому снимку (обозначения те же, что и на рис. 2)

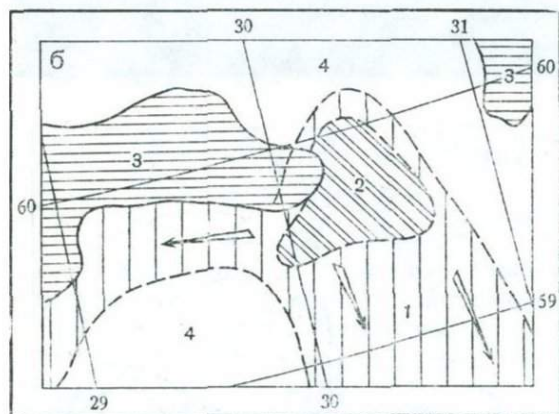


Рис. 4. Космический (в оригинале псевдоцветной) снимок северо-запада СССР (а), полученный 26 марта 1973 г. с ЕРТС-1 в результате сложения трех радиометрических изображений в интервалах 0,5—0,6, 0,6—0,7 и 0,8—1,1 мк  $M \sim 1:3\ 360\ 000$ , и карта-схема промышленных и городских загрязнений атмосферы и подстилающей поверхности (б), составленная по данным анализа снимка

1 — районы интенсивного таяния снежного покрова (глубиной 5—10 см), частично связанного с выпадением промышленных загрязнений; 2 — район городской дымки; 3 — акватории; 4 — районы суши с глубиной снежного покрова 15—30 см; 5 — направление атмосферных загрязнений

Анализ космических снимков позволяет судить о наличии дымки промышленного происхождения, развитой над многими промышленными районами, в частности, в северной Европе (Mohr, 1971), и над многими крупными городами. На снимках с ЕРТС-1 такая дымка зафиксирована, например, над Нью-Йорком (16 августа 1972 г.), Сиэтлом (28 июля 1972 г.) и Ленинградом (рис. 4, Кондратьев, Григорьев и др., 1972). Заметим, что Сиэтл и Ленинград согласно советско-американскому соглашению избраны в качестве опорных пунктов наблюдения за загрязнением атмосферы в результате деятельности человека.

Снимки из космоса дают информацию о распространении дымки, не всегда фиксируемой наземными наблюдениями, очагах (зонах) ее возникновения; долговременные периодические космические наблюдения за дымкой позволяют получить данные об особенностях ее флюктуации в зависимости от местных метеорологических условий.

Дымка, «висящая» над городом, маскирует детали строения поверхности, на снимке (рис. 4) с трудом в макрочертах просматривается сетка улиц, русло р. Невы и ее притоков. В целом дымка в своей конфигурации повторяет очертания Большого Ленинграда, несколько выходя за его пределы, в частности, что хорошо заметно, — над Финским заливом. «Пятно» изображения дымки характеризуется нерезкими размытыми границами и постепенным уменьшением (по направлению от центра) плотности изображения (и связанным с этим также постепенным улучшением просматриваемости деталей строения поверхности). На южной и западной окраине города изображение дымки смыкается с изображением двух широких полос ее осаждения на поверхность.

#### ВОЗДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ЛАНДШАФТ

Среди вторичных побочных воздействий деятельности человека на окружающую среду большой интерес представляет изучение последствий промышленных атмосферных загрязнений. На снимке с ЕРТС-1 (рис. 4) на фоне заснеженной поверхности хорошо прослеживаются две темноватые полосы, вытянутые в разных направлениях от города на протяжении (судя по снимку) свыше 50 км, а возможно и более. По своему происхождению они частично связаны с осаждением атмосферных (промышленных) загрязнений на снег, а частично и с наличием дымки в момент съемки, о чем свидетельствует размытость изображения подстилающей поверхности, плохая ее просматриваемость (в отличие от смежных районов). По данным В. Б. Липатова, осаждение происходило в период преобладания антициклона, северо-северо-восточных и восточных ветров при устойчивой стратификации атмосферы, сопровождавшейся образованием приземных инверсий. Анализ материала

лов снегомерной съемки показал, что высота снежного покрова в пределах полос осаждения загрязнения меньше (5—10 см), чем в смежных районах (15—30 см). По нашему мнению это связано с более интенсивным таянием снежного покрова, частично из-за уменьшения альбедо поверхности, и частично в связи с большей антропогенной освоенностью зоны полос. На распространение в ориентировку полос осаждения загрязнения на местности также оказывает влияние и орография. Полосы территориально разделяются Ижорской возвышенностью, обтекая ее. Судя по относительным высотам рассматриваемого района, высота основного слоя загрязнения атмосферы не превышает 100—150 м, а толщина — 100 м.

### ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫМИ СТОКАМИ

На космических снимках идентифицируются различные особенности антропогенного загрязнения акваторий: наличие сбросов аномально нагретых промышленных и городских стоков, появление различных активных, в том числе нефтяных пленок и т. д. Эти особенности удается обнаружить с помощью различных индикаторов, в частности по изменениям отражательной способности загрязненной воды, водной растительности (вследствие ее заболевания), характеру волнения под влиянием активных пленок, появлению тепловых аномалий и т. д. Известны многочисленные примеры обнаружения антропогенных загрязнений акваторий (Виноградов, Григорьев, 1974). Так, по снимкам с ЕРТС-1 в интервале 0,6—0,7 мк видимой зоны спектра были выявлены нефтяные блики в Суэцком заливе (Otterman et al., 1974). Аномально нагретые воды, образовавшиеся в результате смешения естественных холодных и нагретых промышленных сточных вод, фиксируются на тепловых ИК-снимках, в частности в интервале 3,4—4,1 мк с ИСЗ «Нимбус-3» у побережья Западной Европы, в Северном и Балтийском морях вблизи устьев рек (Kaminski, 1972).

Вариации мутности вод хорошо прослеживаются в узких спектральных интервалах в видимой области спектра. Так, в частности, изменение мутности вод в р. Потомак и Часапикском заливе, частично обусловленное промышленным стоком, наилучшим образом идентифицируется по снимкам с ЕРТС-1 в зеленой и хорошо — в красной областях спектра и не дифференцируется в ближней ИК-области спектра. Отчетливо заметно, что при приближении к городам Вашингтон и Балтимор наблюдается значительное увеличение мутности вод в реке и заливе, связанное с возрастанием доли промышленных стоков. Сопоставлением разносезонных снимков нами был выявлен сезонный ход загрязненности акваторий, в частности, полугодовой ритм изменения загрязненности р. Потомак.

По космическим снимкам, главным образом по оригинальным фотографиям с ПКК и снимкам с ЕРТС-1 с разрешением от первых десятков метров до 200—300 м, полученным в видимой зоне спектра, дифференцируются различные особенности структуры городских и промышленных центров (Виноградов, Григорьев, 1974); сравнением же последовательных снимков за разные годы или снимков и карт удается выявить рост этих центров. В частности, на космических снимках с ЕРТС-1 отражается стремительный рост городов Атлантического побережья США, приводящий к образованию гигантской агломерации, крупнейшего в мире мегалополиса, возникающего вследствие слияния городов Филадельфии и Нью-Йорка, Вашингтона и Бостона.

В ряде случаев для изучения городских и промышленных центров могут быть полезны снимки значительно более мелкого масштаба и худшего разрешения, полученные с метеорологических ИСЗ, в том числе в других зонах спектра, например, тепловые, или же ночные снимки в видимой зоне спектра. Проиллюстрируем это на примере.

На ТВ-снимках США, Северной, Южной, Восточной и Центральной Европы (рис. 5), полученных в ночное время с метеорологического ИСЗ DMSP, отчетливо, хотя и интегрально, изображаются сильно освещенные города и промышленные комплексы. Наиболее крупные города (Хельсинки, Стокгольм, Ленинград и др.) изображаются очень светлыми пятнышками неправильной формы в плане, города меньшего размера — яркими точками, контрастно выделяющимися на темном фоне изображения окружающего ландшафта.

По снимкам отчетливо выявляется современная тенденция сращения городов, что, в частности, хорошо заметно на примере крупной «светящейся» полосы вдоль Атлантического побережья США, где расположены города-гиганты Нью-Йорк, Филадельфия, Вашингтон, Бостон. На территории СССР также выделяется ряд крупных светлых пятен, соответствующих «светящимся» агломерациям Большой Москвы, Большого Ленинграда (включая, в частности, Пушкин и Павловск), промышленным районам Донецк — Горловка — Шахты, Днепропетровск — Запорожье — Кривой Рог и т. д. «Светящиеся» точки и пятна в целом отображают распространение крупных промышленных центров и городов, при этом яркость свечения объектов коррелирует с освещенностью того или иного центра и, следовательно, в некоторой мере косвенным образом отражает их энергетическую мощь.

Для Северо-Запада СССР на снимке (рис. 5), как правило, отображаются города с населением не менее 10 000—30 000 жителей и меньшего размера, если это промышленные центры (см. Атлас..., 1967, Атлас мира, 1967). Город Кириши, по числу жителей значительно меньший, чем Волхов или Новгород, является круп-



Рис. 5. ТВ-снимок Европы (а) полученный в ночное время 6 марта 1973 г. по Гринвичу с метеорологического ИСЗ DMSP при лунном освещении с разрешением около 3,6 км, и карты-схемы дешифрирования (б, в) ТВ-снимка

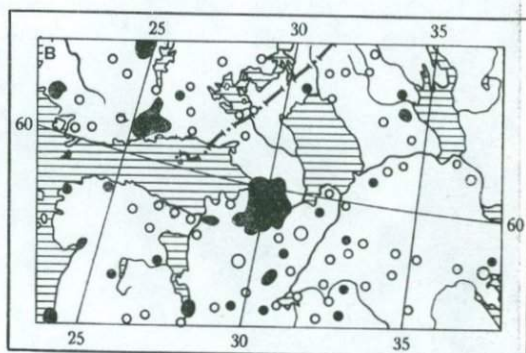
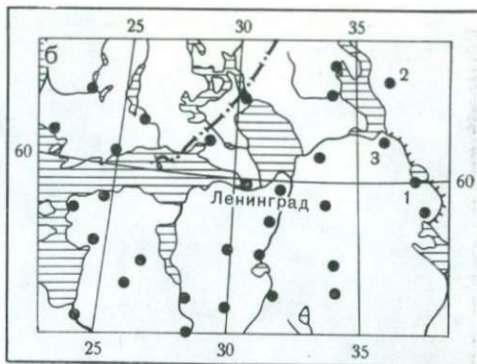
а: 1 — Ленинград; 2 — Москва;

ным растущим промышленным центром и изображается на снимке более ярким и крупным пятном.

При интерпретации «светящихся» объектов, в том числе для оценки их истинных размеров, необходимо учитывать разрешение снимка (около 3,6 км), метеорологические условия съемки. Наличие тонкой просвечивающей облачности, например (не всегда, в зависимости от освещенности ее Луной, заметной на снимках в видимой области спектра, но хорошо различающейся на синхронно полученных ИК-снимках), позволяет просматривать «светящиеся» изображения городов, но в искаженном виде. На снимках различаются специфические световые рисунки — цепочки «светящихся» объектов, среди них — линейно вытянутые, соответствующие, например, цепочкам «светящихся» городов вдоль железных дорог Москва — Ленинград, Новороссийск — Сочи, треугольники (в том числе с вершинами в городах Минск, Орша, Жлобин), четырехугольники (с вершинами в городах Сарны, Коростень, Мозырь, Лукинец) и т. д. В целом же на Европейской части СССР наиболее освещенными изображаются центр, РСФСР, центр и юг УССР.

Рис. 5. (окончание)

б: города на карте М 1 : 10 000 000 (Атлас мира, 1967), изобразившиеся на ТВ-снимке (темные кружки) и не отобразившиеся (светлые кружки); 1 — Белозерск; 2 — Пудож; 3 — Вытегра; в: кружки — «светящиеся» точки и пятна, соответствующие городам и промышленным центрам на снимке и показанные (темные кружки) и не показанные (светлые кружки) на карте того же масштаба



Съемка Земли из космоса в тепловой ИК-области спектра позволяет выявлять различные антропогенные обусловленные явления и в том числе тепловые аномалии, связанные с городскими и промышленными центрами (Kaminski, 1972; Rao, 1972). В настоящее время проблема изучения влияния городов на климат планеты находится в центре внимания многих исследователей (Берлянд, 1972). На тепловых ИК-снимках с метеорологических ИСЗ фиксируются микроклиматические локальные изменения природной среды, вызванные спецификой теплового режима городов. Города изображаются на снимках в виде темных, аномально нагретых пятен, «теплых островов» (Rao, 1972), хорошо контрастирующих с более холодным (светлым) изображением окружающего их естественного ландшафта. На ночном ИК-снимке Западной Европы (рис. 6) отчетливо дифференцируются тепловые поля с повышенными значениями температуры поверхности, соответствующие городам-гигантам Большому Парижу, Большому Лондону. Менее отчетливое изображение получают на этом мелкомасштабном снимке некоторые другие города, меньшие по занимаемой площади,



Рис. 6. Космический тепловой ИК-снимок Западной Европы, полученный в Обсерватории г. Бохум, ФРГ 22 марта 1973 г. в 19 ч. 49 мин. по Гринвичу в интервале 10,5—12,5 мк с метеорологического ИСЗ NOAA-2 (по Kaminski, 1973)

1 — Париж, 2 — Лондон, 3 — Руан, 4 — Милан, 5 — Турин, 6 — Лион, 7 — Роттердам

в том числе Турин, Милан, Лион. Несомненно, что подобные ИК-снимки, в особенности с более высоким температурным разрешением, будут весьма полезны для региональных и глобальных оценок антропогенно обусловленных нарушений теплового баланса нашей планеты.

Составной частью исследований по данной проблеме является разработка оптимальной системы дистанционных наблюдений за антропогенными изменениями природной среды. Эти наблюдения

могут проводиться в рамках единой глобальной системы дистанционных наблюдений Земли (с целью контроля и слежения за состоянием окружающей среды — Григорьев, 1975). Создание системы наблюдений за влиянием деятельности человека на природную среду включает разработку требований к информационному содержанию космических изображений, которые могут быть выработаны в результате анализа частотно-пространственных, частотно-контрастных и частотно-временных характеристик отражательных и излучательных свойств объекта исследования.

Организация глобального контроля (мониторинга) за окружающей средой, в том числе ее антропогенными изменениями, — важнейшая задача современной науки и практики (Global..., 1971), всестороннее решение которой невозможно без развития аэрокосмической технологии. Создание спутниковой глобальной системы наблюдений за антропогенными изменениями окружающей среды в значительной степени обеспечит трудно осуществимый в настоящее время контроль за деятельностью человека и ее последствиями в региональном и глобальном масштабах, создаст необходимые условия для организации разумного освоения ресурсов Земли на благо человека.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Андреев И. И., Григорьев А. А. Изображение гидрографической сети на многозональных разносезонных снимках с ЕРТС-1.— Тр. Гос. гидрологич. ин-та, вып. 237, Л., 1975.
- Атлас Ленинградской области. Л., ГУГК, 1967.
- Атлас мира. М., ГУГК, 1967.
- Берлянд М. Е., Кондратьев К. Я. Города и климат планеты. Л., Гидрометеопиздат, 1972.
- Виноградов Б. В. Воздействие человека на природную среду по данным космической съемки.— Изв. АН СССР. Сер. географ., 1971, в 5.
- Виноградов Б. В., Григорьев А. А. Космические методы изучения природной среды.— В сб. Итоги науки и техники, т. I. Теоретические и общие вопросы географии. М., ВИНТИ, 1974.
- Григорьев Ал. А. Космическая индикация ландшафтов земли. Л., Изд-во ЛГУ, 1975.
- Григорьев Ал. А., Липатов В. Б. Пыльные бури по данным космической съемки. Л., Гидрометеопиздат, 1974.
- Исаченко А. Г. Ландшафт как предмет человеческого воздействия.— Изв. ВГО, 1974, т. 106, № 5.
- Кондратьев К. Я., Береговой Г. Т., Бузников А. А. и др. Человек и окружающая среда: дистанционная индикация из космоса. Л., Изд-во ЛГУ, 1973.
- Кондратьев К. Я., Григорьев А. А., Покровский А. Г. и др. Космическая дистанционная индикация малых газовых и аэрозольной компонент атмосферы. Л., Изд-во ЛГУ, 1974.
- Милюков Ф. Н. Человек и ландшафты. М., «Мысль», 1973.
- Global environmental monitoring. Stockholm, 1971.
- Kaminski H. Infrarotaufnahmen der Erde von Satelliten und ihre Aussage-möglichkeit.— Naturwiss. Rundsch., 1972, B. 24, N. 6.
- Kaminski H. Grundsätzliches zur Fernerkundung der Erde.— Bildmessung und Luftbildwesen, 1973, N. 4.

- Mohr J.* Air pollution photographed by satellite.— *Monthly Weather Rev.*, 1971, v. 99, n. 8.
- Otterman J., Ohring G., Ginsburg A.* Results of the Israeli multidisciplinary data analysis of ERTS-1 imagery.— *Remote sensing of environment*, 1974, v. 3.
- Rao K. P.* Remote sensing of urban «heat islands» from an environment satellite.— *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1972, v. 53, n. 7.
- Wobber F. J.* Orbital photos applied to the environment.— *Photogramm. Engng.*, 1970, v. 36, n. 8.



*П. А. Жакович*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ИНТЕРЕСАХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ

Известно, что до создания космических средств оценка и прогноз гидрометеорологических условий осуществлялись на основе дискретных по месту и времени наблюдений и измерений (на сети гидрометеорологических станций).

Применение космических средств позволило получать принципиально новую информацию о состоянии гидрометеорологических параметров, являющихся составными частями природных ресурсов Земли (облака, осадки, снежный и ледовый покровы и др.). Отличительной особенностью этой информации является ее глобальность, непрерывность и комплексность, так как космические снимки охватывают одновременно значительные по площади территории и могут быть получены в любой интересующий отрезок времени (вдоль трассы полета космического аппарата).

С организацией оперативного глобального наблюдения за гидрометеорологическими объектами с использованием космических средств и наземного комплекса сбора, обработки и распространения полученной информации образовалась новая отрасль науки — космическая метеорология. Действующую ныне экспериментальную метеорологическую космическую систему «Метеор» следует рассматривать как начальный этап исследования природных ресурсов Земли космическими средствами.

В состав этой системы входят 2—3 постоянно находящихся на орбитах ИСЗ и наземный комплекс приема и обработки информации, получаемой с помощью бортовой ТВ-, ИК- и актинометрической аппаратуры. Принятая информация в виде фотоснимков и фотомонтажей сразу же после обработки поступает в Гидрометеорологический центр СССР для анализа гидрометеорологической обстановки и использования при разработке прогнозов погоды и гидрологического режима, а через Главный радиометеоцентр по

факсимильным связям — в республиканские и областные бюро погоды, авиационно-метеорологические станции и другие подразделения службы.

ТВ-изображения на снимках, получаемых при помощи аппаратуры радиотелевизионного комплекса (РТВК), установленной на 18-м ИСЗ «Метеор», имеют ряд отличий от ТВ-изображений, получаемых со штатных ИСЗ «Метеор». Главное отличие их состоит в многозональности съемки. С 18-го «Метеора» съемка производится в 4 каналах видимого и ближнего ИК-диапазона спектра, а ТВ-аппаратура штатных «Метеоров» производит съемки только в видимом диапазоне. Кроме того, аппаратура РТВК характеризуется постоянством передачи полутонов по формату условного кадра с захватом на местности около  $2700 \times 3400$  км, в то время как полоса захвата ТВ-аппаратуры «Метеоров» составляет всего  $690 \times 690$  км.

Важным достоинством снимков является также повышенное число передаваемых градаций яркости (до 10—15), которые имеют линейную зависимость от альbedo природных объектов, включая подстилающую поверхность и облака. Увеличение числа градаций, различаемых на снимках, обеспечивает, таким образом, повышенные степени детализации при дешифрировании изображений, представленных на снимках, особенно таких, как облачные образования и снежный покров.

Перечисленные преимущества положительно сказываются на информативности снимков и тем самым увеличивают возможности их дешифрирования и использования в интересах гидрометеорологической службы. По снимкам с 18-го ИСЗ «Метеор» представилась возможность более детального визуального дешифрирования облачности, льда и снега, водных объектов, а также состояний сельскохозяйственных угодий. При этом основными дешифровочными признаками на снимках являются тон и структура (рисунок) изображения. Так, по снимкам, полученным в различных диапазонах спектра электромагнитных волн, за счет увеличения градаций яркости можно более уверенно и объективно оценить количество облачности (по пяти градациям: «ясно», «небольшая», «значительная», «сплошная с просветами» и «сплошная»). Прослеживаются даже мелкие скопления кучевой облачности и тонкие полосы перистых облаков (главным образом во 2 канале съемки). С большей уверенностью на многозональных снимках распознаются и типы облаков: слоистообразных, слоисто-кучевых, кучевообразных, кучево-дождевых и перистообразных. В случае изображения на снимках кучево-дождевых облаков по величине их тени на подстилающей поверхности можно сделать заключение об относительной высоте их нижней и верхней границ. Особый интерес представляют фронтальные, главным образом кучево-дождевые облака, а также облака тропических циклонов и тайфунов, которые на снимках с 18-го «Метеора» изображаются более отчетливо, чем на ТВ-снимках, выполненных в одном канале съемки.

Анализ снимков облачного покрова, выполненных во всех четырех спектральных каналах съемки, проведенный в ГосНИЦ ИПР (ГКГМП), позволил получить предварительные рекомендации по дешифрированию конкретных типов облаков. Так мелкомасштабная кучевообразная облачность лучше изображается на снимках, полученных в 1 и 2 спектральных каналах съемки. Сплошная многослойная облачность лучше изображается на снимках, выполненных в 4 канале съемки. Несплошная тонкая перистообразная облачность на фоне темной подстилающей поверхности лучше выделяется на снимках во 2 и 3 каналах. Однако эти рекомендации следует уточнить на основе анализа снимков, полученных в различные сезоны года и в различных климатических условиях. Опыт дешифрирования многозональных снимков показал их пригодность и для решения задач гидрологии и океанологии, при изучении водности рек и озер, снежного и ледового покровов, меандрирования течений, границ и характеристик заболоченных территорий и др.

Основой для дешифрирования гидрологических объектов являются также характеристики яркости и текстуры снимка. Наибольшие возможности выявились при использовании снимков с 18-го ИСЗ «Метеор» для изучения ледовой обстановки. Благодаря различию в альбедо на снимках выделяются открытые водные поверхности, неподвижный ледовый покров и плавающий лед. Отчетливо разграничиваются неоднородные участки ледового покрова в различных районах моря (по тону изображения). По яркости и тону изображения можно сделать выводы о неоднородности ледового покрова по возрасту, его сплоченности, степени разрушения и изменению границ. Характеристики льда лучше всего выявляются на снимках, полученных во 2 и 3 спектральных каналах.

Дешифрирование снимков подстилающей поверхности (при отсутствии облачного покрова) оказалось весьма полезным при решении некоторых задач агрометеорологии и, в частности, для определения состояния сельскохозяйственных культур.

Основным дешифрировочным признаком состояния и развития сельскохозяйственных культур является тональность изображения. Созревшие зерновые культуры на снимках имеют более светлый тон, чем незрелые. Поля с убранными сельскохозяйственными культурами и особенно вспаханные имеют на снимках темный тон. На снимках с темным фоном вспаханных почв достаточно четко выделяются более светлые участки, занятые пойменной растительностью по долинам рек. Для выявления на снимках более детальных характеристик состояния растительного покрова, а именно: участков, пораженных вредителями сельскохозяйственных культур, фаз развития и границ зон пастбищной растительности и посевов, а также продуктивности сельскохозяйственных угодий, — имеющихся материалов пока недостаточно.

Как следует из вышеизложенного, информация РТВК с 18-го ИСЗ «Метеор» уже в настоящее время может широко использо-

ваться в гидрометеорологической службе как при анализе фактических гидрометеорологических и агрометеорологических условий, так и при разработке прогнозов погоды, режима гидрологических объектов, состояния посевов и др.

По мере увеличения разрешения, а, следовательно, и информативности снимков, ценность и возможность их практического использования будут возрастать. Перспективность применения многозональных ТВ-съемок из космоса является очевидной.

\*

*Л. М. Магиясевич*

## АТМОСФЕРНЫЕ ПОМЕХИ НАБЛЮДЕНИЮ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, РАБОТАЮЩИХ В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

Наиболее существенное влияние на распространение в атмосфере излучения оптического диапазона длин волн оказывают: облачность; избирательное поглощение; рефракция, обусловленная относительно устойчивым распределением плотности атмосферы по высоте; рефракционные явления, связанные с турбулентностью атмосферы, и диффузное рассеяние.

При наличии сплошной облачности, а также в зонах интенсивного поглощения съемка поверхности Земли из космоса невозможна. Рефракционные же явления и диффузное рассеяние излучения всегда сопутствуют наблюдению. Поэтому важно знать степень их влияния на информационные свойства средств съемки.

### ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ РЕФРАКЦИЯ

По аналогии с углом астрономической рефракции  $\rho_a$ , определяемым как разность действительного  $Z$  и наблюдаемого  $Z'$  значений зенитного расстояния светила, углом фотограмметрической рефракции  $\rho_\phi$  называют угол между действительным  $\psi$  и наблюдаемым  $\psi'$  направлениями на некоторую точку поверхности Земли (рис. 1).

Из рис. 1 следует:

$$\rho_a = Z - Z', \quad (1)$$

$$\rho_\phi = \rho - \rho_a, \quad (2)$$

где  $\rho$  — угол полной рефракции.

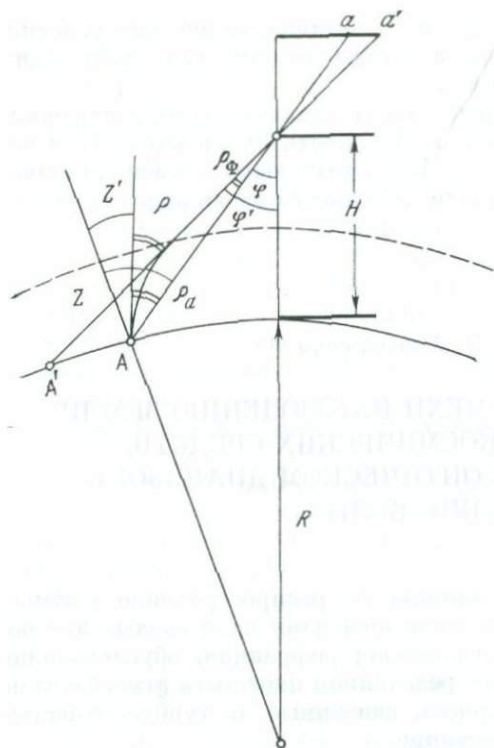


Рис. 1. Астрономическая и фотограмметрическая рефракция

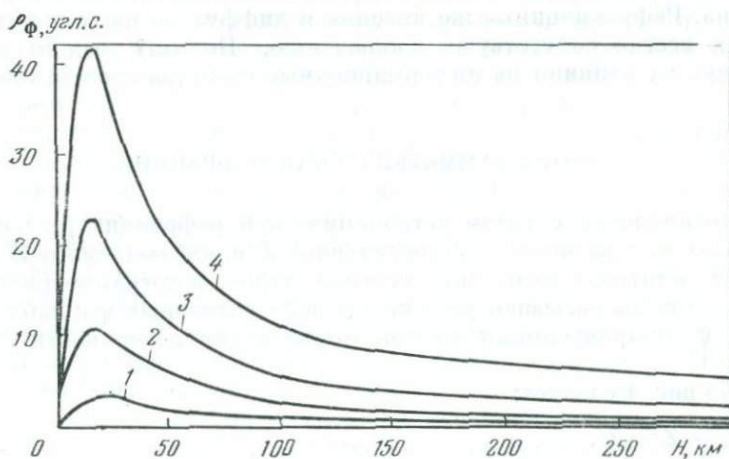


Рис. 2. Зависимость фотограмметрической рефракции от высоты наблюдения

$\varphi$ : 1 —  $10^\circ$ ; 2 —  $30^\circ$ ; 3 —  $50^\circ$ ; 4 —  $65^\circ$

Исследованию рефракции посвящено большое количество работ (Келль, 1949; Урмаев, 1941; Матвеев, 1968 и др.), в которых предлагаются различные способы вычисления значений  $\rho_a$  и  $\rho_\phi$ . Подробные обзоры этих исследований имеются в работах Колчинского (1967) и Куштина (1971). Наиболее точные вычисления угла фотограмметрической рефракции для высот вплоть до 300 км и широкого диапазона значений угла наблюдения выполнены в последних работах и Матвеевым (1968). Хорошее совпадение значений  $\rho_\phi$ , определявшихся в этих работах различными способами, свидетельствует о надежности полученных данных. На рис. 2 приведены графики функций  $\rho_\phi(H)$ , построенные по данным Матвеева (1968). Из рассмотрения графиков следует, что  $\rho_\phi$  быстро возрастает с увеличением высоты наблюдения, достигает максимальных значений на высоте порядка 15 км, а затем убывает, и для случая наблюдения из космоса ( $H \geq 200$  км), даже при использовании сверхширокоугольных объективов ( $2\beta = 130^\circ$ ), не превышает  $7''$ . В случае же применения нормальных объективов, имеющих захват на местности порядка одной высоты ( $2\beta \approx 53^\circ$ ),  $\rho_\phi \leq 1,5''$ . Соответствующие этим значениям угла рефракции линейные сдвиги на местности будут порядка 1,5–7 м, что при решении подавляющего большинства задач изучения природных ресурсов Земли может практически не учитываться.

#### ТУРБУЛЕНТНОСТЬ АТМОСФЕРЫ

Турбулентность атмосферы (неупорядоченные по направлению и скорости вихревые перемещения воздушных масс, имеющих различную плотность и геометрические размеры) вызывает беспорядочные изменения рефракции, которые являются серьезной помехой при астрономических наблюдениях. Исследованию этой помехи посвящено большое количество работ (Данжон, Кудэ, 1940; Татарский, 1959 и др.).

Структура турбулентности в геометрическом отношении характеризуется двумя величинами: средним размером наименьших элементов турбулентности атмосферы, называемым внутренним масштабом турбулентности  $l_0$ , и протяженностью области, в пределах которой турбулентность можно считать однородной, — внешний масштаб турбулентности  $L_0$ . Внутренний масштаб измеряется сантиметрами, десятками сантиметров, внешний — десятками, сотнями метров.

При прохождении электромагнитных волн оптического диапазона через турбулентный слой атмосферы возникают флуктуации их фазы.

В зависимости от соотношения между внутренним масштабом турбулентности, диаметром объектива, расстоянием между возмущенным слоем и наблюдателем, длины пути в турбулентном слое и скорости перемещения оптических неоднородностей, флуктуации

фазы волн проявляются по-разному, вызывая: флуктуации яркости (мерцание), дрожание изображения и деформацию дифракционной картины изображения (турбуленция).

Флуктуации яркости звезд характеризуют амплитудой колебания яркости, значения которой обычно не превышают 3–15% от средней яркости звезды (Мельников и др., 1959; Дарчия, 1965). Для не когерентных же источников излучения (планеты, Солнце) эти колебания существенно меньше. Поэтому можно считать, что мерцание практически не будет влиять на качество космических снимков.

Дрожание и турбуленция обусловлены изменением направления распространения радиации при прохождении через турбулентный слой. Если внутренний масштаб турбулентности больше диаметра объектива, то происходит смещение всего изображения звезды без ухудшения его качества. Вследствие движения турбулентных неоднородностей величина и направление смещения изображения изменяются, наблюдается «дрожание изображения звезды». Количественно дрожание характеризуют величиной амплитуды, выраженной в угловых секундах, а также периодом или частотой дрожания в герцах.

В тех случаях, когда внутренний масштаб турбулентности меньше диаметра объектива  $d$ , поток излучения, строящий изображение, складывается из двух частей — потока, идущего непосредственно от звезды, и — проходящего через неоднородность. Соответственно образуется несмещенное, неподвижное изображение и смещенное, перемещающееся. В результате дифракционная картина изображения звезды нарушается, качество изображения ухудшается. Вследствие перемещения турбулентных неоднородностей направление луча, проходящего через них, колеблется в пределах некоторого конуса, половина угла при вершине которого называется углом турбуленции (или просто турбуленцией).

При прохождении потоков излучения через турбулентный слой, в котором имеются неоднородности различных размеров ( $l_0 < d$  и  $l_0 > d$ ), наблюдается одновременно как дрожание изображения, так и ухудшение его качества. Имеется корреляция между дрожанием и турбуленцией, большим амплитудам дрожания соответствуют большие углы турбуленции.

Иногда (Куштин, 1974; Кучко, 1974) влияние турбулентности на информационные свойства аэроснимков характеризуют непосредственно значениями амплитуды дрожания и угла турбулентности, получаемыми при астрономических наблюдениях, что для случая космической съемки является весьма приближенной оценкой.

Рассмотренные явления дрожания и турбуленции соответствуют наблюдению точечных источников излучения. При наблюдении протяженных объектов эти явления будут вызывать случайные по направлению и величине сдвиги малоразмерных элементов изображения, вследствие чего могут создаваться пространственные

флуктуации освещенности и нарушаться геометрическая микроструктура изображения. Так, при наблюдении Солнца обнаруживаются изменения координат изображения отдельных элементов. Иногда детали изображения раздваиваются или, наоборот, сливаются, вблизи края изображения солнечного диска появляются светлые пятна, а в пределах диска — темные, т. е. наблюдается дрожание («кипение») изображения края Солнца (Кожевников, 1965; Крат, 1959).

Для количественной оценки возможных искажений микроструктуры изображения и степени ограничения разрешающей способности космических средств наблюдения вследствие дрожания и турбуленции воспользуемся рис. 3.

Учитывая малость углов, соответствующих дрожанию (турбуленции) при астрономических наблюдениях  $\alpha_a$  и при съемке из космоса  $\alpha_k$ , на основании рис. 3 можем записать:

$$\alpha_a H_T \approx \alpha_k H,$$

откуда

$$\alpha_k \approx \alpha_a \frac{H_T}{H}, \quad (3)$$

где  $H_T$ ,  $H$  — высота турбулентного слоя и высота съемки, соответственно.

Таким образом, для определения величины  $\alpha_k$  надо знать амплитуду дрожания и угол турбуленции при астрономических наблюдениях, а также высоту турбулентного слоя. Наиболее обширный материал о значениях этих величин получен ночью по результатам наблюдения звезд. Однако имеется корреляция между результатами дневных и ночных наблюдений. Поэтому рассмотрим как те, так и другие.

Среднее значение угла турбуленции, полученное в результате обработки данных многолетних наблюдений звезд в девяти различных пунктах Советского Союза, составило  $0,31''$ ; минимальное встречавшееся значение было  $0,09''$ , а максимальное —  $1,44''$  (Ахундова, Дарчия, 1961; Скоропунов, 1965).

Распределение амплитуд дрожания подчиняется нормальному закону и обычно характеризуется величиной среднего квадратиче-

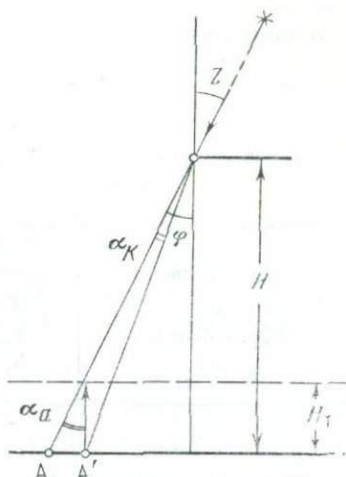


Рис. 3. Схема наблюдения земных объектов из космоса через турбулентный слой атмосферы

Таблица 1

Значения дрожания и турбуленции при наблюдении поверхности Земли из космоса

Вид помехи	$H_T$ , км	$\alpha_a$ (")	$H$ , км	
			400	800
			$\alpha_R$ (")	
Дрожание	1,5	$3\sqrt{2}$	0,016	0,008
»	3,0	$5\sqrt{2}$	0,050	0,025
Турбуленция	1,5	0,3	0,001	0,0005
»	3,0	1,5	0,011	0,005

ского отклонения  $\sigma_A$ . В Пулковской обсерватории по данным многолетних наблюдений звезд было получено значение  $\sigma_A = \pm 0,35''$  (Мельников и др., 1959), в Голосеево — среднее значение  $\sigma_A = \pm 0,46''$ , а максимальное —  $1,32''$  (Колчинский, 1961).

О значениях дрожания и угла турбуленции при наблюдении Солнца можно судить по следующим данным. Условия наблюдения считаются нормальными, если среднее значение амплитуды дрожания изображения края Солнца  $\leq 3''$ , а средний угол турбуленции  $\leq 0,3''$  (Крат и др., 1960). В другой работе (Калистратова, 1968) указывается, что среднее квадратическое отклонение значений амплитуды дрожания изображения края Солнца, находящегося в зените, не превышает  $1,5''$ . Исследования с помощью киносъемки Солнца показали, что максимальные значения амплитуды дрожания достигают  $5''$  (Кожевников, 1965).

Исходя из вышеприведенных данных примем для расчета следующие значения угла турбуленции и амплитуды дрожания:

при нормальных условиях наблюдения  $\bar{t} = 0,3''$ ,  $\bar{A} = 3''$ ;

при неблагоприятных условиях, предельные значения  $t_{\max} = 1,5''$ ,  $A_{\max} = 5''$ .

Учитывая случайный характер направления отклонений луча вследствие дрожания, для оценки относительного смещения двух смежных элементов изображения получим  $\alpha_a = \sqrt{2}A$ .

На основании экспериментальных данных и теоретического анализа принято считать, что высота турбулентных слоев, создающих помехи, при дневных наблюдениях несколько меньше, чем ночью, и в среднем равна  $\sim 1,5$  км, а максимальное ее значение достигает  $\sim 3$  км (Кожевников, 1965; Демидова, 1968).

Принимая вышеприведенные значения угла турбуленции, амплитуды дрожания и высоты турбулентного слоя в качестве исходных данных и используя формулу (3), получим значения угла  $\alpha_R$ , приведенные в табл. 1.

Если принять, что допустимый сдвиг изображения в два раза

меньше разрешаемого элемента, то из данных табл. 1 следует, что при самых неблагоприятных условиях наблюдения явление дрожания ограничивает величину углового разрешения системы наблюдения, при съемке с  $H=400$  км, углом, равным  $0,1''$ , а при  $H=800$  км —  $0,05''$ .

Известно (Данжон, Кудэ, 1940), что турбуленция не искажает дифракционное изображение при отношении ее к радиусу кружка Эри  $t/a < 1/4$ . Поэтому, если принять, что разрешаемый на местности элемент соответствует радиусу кружка Эри, то при наилучших условиях наблюдения турбуленция в соответствии с данными табл. 1 будет ограничивать разрешающую способность системы при съемке с  $H=400$  км углом, равным  $\sim 0,04''$ , а при  $H=800$  км —  $0,02''$ .

Таким образом, совместное влияние дрожания и турбуленции при съемке с  $H=400$  км не превышает  $0,11''$  и, следовательно, эти явления не являются практически помехой наблюдения поверхности Земли из космоса.

### ДИФFUЗНОЕ РАССЕЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

Диффузно рассеянное молекулами газов и аэрозольными частицами атмосферы излучение, которое в аэрофотографии и теории дальности видимости называют воздушной дымкой, является серьезной помехой при аэросъемке и наблюдении из космоса. Методика оценки влияния воздушной дымки на фотометрические характеристики объектов при аэрофотосъемке рассматривается во многих работах. Обширное исследование этих характеристик применительно к случаю наблюдения из космоса выполнено в работе (Береговой и др., 1972), где получены экспериментальные и теоретические значения спектральных передаточных функций атмосферы для яркости, коэффициента яркости контраста и альbedo земной поверхности. В то же время влияние воздушной дымки на информационные свойства космических средств наблюдения изучено мало. Для того чтобы оценить возможные пределы изменения этих свойств при различных состояниях атмосферы, выберем критерии оценок информационных свойств средств наблюдений и интенсивности воздушной дымки, установим между ними функциональную связь и рассчитаем значения информационного критерия, соответствующие различным состояниям атмосферы.

Наиболее универсальным критерием оценки информационных свойств космических средств наблюдения является разрешение на местности:

$$L = \frac{M}{2R_k}, \quad (4)$$

где  $M$  — линейный масштаб съемки (м/мм);  $R_k$  — разрешающая способность, соответствующая контрасту на входе оптической системы ( $K'$ ).

Достоинства этого критерия заключаются в наличии функциональной связи между критерием и техническими параметрами средств наблюдения, а также корреляции между его значениями и вероятностью обнаружения (опознавания) объектов наблюдения.

Из выражения (4) следует, что разрешение на местности является некоторой функцией контраста. В связи с этим в качестве критерия оценки интенсивности воздушной дымки необходимо выбирать величину, позволяющую определять влияние дымки на наблюдаемый контраст. Такими величинами являются коэффициент задымленности и передаточная функция атмосферы. Достоинства аппарата передаточных функций общеизвестны. Однако применение их для характеристики воздушной дымки неудобно, в связи с тем что наблюдаемый контраст объектов зависит не только от исходного контраста и параметров воздушной дымки, но и от среднего уровня яркости объекта и фона. Поэтому для характеристики одного и того же состояния атмосферы надо иметь столько передаточных функций, сколько возможно сочетаний контрастов с соответствующими им яркостями объектов и фонов. Учитывая вышесказанное, примем в качестве критерия оценки интенсивности воздушной дымки коэффициент задымленности  $r_d$ , определяемый выражением:

$$r_d = \frac{B_d}{B_0} = \pi \frac{B_d}{E}, \quad (5)$$

где  $B_d$  — яркость воздушной дымки, отнесенная к поверхности Земли;

$B_0$  — яркость идеально рассеивающей поверхности;

$E$  — освещенность этой поверхности во время наблюдения.

Установим связь между разрешением на местности и коэффициентом задымленности.

Контраст элемента разрешения на входе оптической системы:

$$K' = \frac{\Phi_a' - \Phi_\phi'}{\Phi_a' + \Phi_\phi'}, \quad (6)$$

где  $\Phi_a'$ ,  $\Phi_\phi'$  — потоки излучения, соответствующие элементу разрешения на местности и фону.

Монохроматический поток излучения на входе оптической системы определяется выражением (Матиясевич, 1976):

$$\Phi' = (B + B_d) T \omega P \cos \varphi. \quad (7)$$

Соответствующие элементу разрешения и фону значения яркости воздушной дымки  $B_d$  и  $B_{d\phi}$ , коэффициента пропускания атмосферы  $T_a$  и  $T_\phi$ , телесного угла  $\omega_a$  и  $\omega_\phi$ , рассматриваемой площади  $P_a$  и  $P_\phi$  и угла визирования  $\varphi_a$  и  $\varphi_\phi$  могут быть приняты практически равными друг другу. Тогда, подставляя выражение (7) в (6) и переходя от значений яркостей к коэффициентам яр-

кости  $r_a$  и  $r_\phi$  и задымленности  $r_d$ , после преобразования получим

$$K' = \frac{K}{1 + r_d'} \quad (8)$$

где  $K$  — контраст элемента разрешения у поверхности Земли,

$r_d' = \frac{2r_d}{r_a + r_\phi}$  — отношение значения коэффициента задымленности

к среднему значению коэффициентов яркости элемента и фона.

Для каждого вида средств наблюдения (фотографических, визуальных, телевизионных и т. п.) имеется своя функция  $L(K)$ . Подставляя в эту функцию выражение (8), получим формулу, описывающую зависимость разрешения на местности от коэффициента задымленности  $L = \Psi(K, r_d, r_a, r_\phi)$ . Так, в случае фотографических средств наблюдения зависимость разрешающей способности от контраста описывается эмпирическим выражением (Истомин, 1955):

$$R' = R \left( \frac{K_M}{2 - K_M} \right)^{0,36}, \quad (9)$$

где  $R'$ ,  $R$  разрешающая способность системы при произвольном контрасте мира  $K_M = \frac{B_a - B_\phi}{B_a}$  и при  $K_M = 1$ , соответственно.

Для контраста, определяемого выражением (6), формула (9) примет вид

$$R' = R(K')^{0,36}, \quad (10)$$

откуда, в соответствии с (4)

$$L = \frac{M}{2R(K')^{0,36}} \quad (11)$$

или, учитывая (8),

$$L = \frac{M}{2RK^{0,36}} \left( 1 + \frac{2r_d}{r_a + r_\phi} \right)^{0,36}. \quad (12)$$

Из выражения (12) следует, что при данном контрасте элемента разрешения на местности  $K$  и данном состоянии атмосферы  $r_d$  влияние дымки на разрешение возрастает с уменьшением средней яркости элемента и фона и, наоборот, уменьшается по мере их увеличения. При данном значении контраста и средней яркости элемента и фона разрешение ухудшается с увеличением значения коэффициента задымленности.

Величина разрешения на местности зависит от наблюдаемого контраста элементов разрешения ( $K_1', K_2', \dots, K_i', \dots, K_n'$ ), и поэтому информационные возможности средств наблюдения должны характеризоваться средним статистическим значением

разрешения

$$\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} L_i}{n}. \quad (13)$$

Для оценки влияния воздушной дымки на информационные возможности средств наблюдения будем использовать отношения  $C_d$  разрешения, соответствующего плохой прозрачности атмосферы  $\bar{L}''$ , к разрешению при нормальной, типичной прозрачности  $\bar{L}'$ . При этом для упрощения расчетов проведем нормировку значений разрешения на местности

$$L_{Hi} = \frac{L_i}{L_0} = \left( \frac{1+r_d'}{K} \right)^{0,36} = \frac{1}{(K')^{0,36}}, \quad (14)$$

где  $L_0 = M/2R$  — разрешение на местности, соответствующее разрешающей способности системы при абсолютном контрасте  $K=1$ ; Тогда:

$$C_d = \frac{\bar{L}''}{\bar{L}'} = \frac{L_{H''}}{L_{H'}} = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i')^{0,36}}{\sum_{i=1}^n (K_i'')^{0,36}}. \quad (15)$$

Практическое применение полученных выражений для оценки влияния воздушной дымки на информационные свойства средств наблюдения невозможно без знания значений коэффициентов задымленности, соответствующих различным состояниям атмосферы и условиям наблюдения.

Величина коэффициентов задымленности определялась во многих работах (Кузнецов, Овчинский, 1949; Кузнецов, 1969 и др.). Однако имеющиеся значения коэффициента в одних случаях недостаточно точны, вследствие принятых при их определении допущений, в других — не охватывают весь диапазон изменений состояния атмосферы. Поэтому нами были определены спектральные значения коэффициента задымленности (табл. 2) для различных альбедо земной поверхности  $q$ , зенитных расстояний Солнца  $Z_\odot$ , углов визирования  $\varphi$  и оптической толщи атмосферы ( $\tau^*$ ).

Приведенные в табл. 2 значения коэффициента задымленности определялись по данным об интенсивности рассеянного атмосферой излучения, полученным Фейгельсон и др. (1958). При этом расчет значений коэффициента производился по формуле:

$$r_{d\lambda} = \pi \frac{B_{d\lambda}}{E_\lambda} = \frac{J(\lambda) + \Delta_\eta}{I^{(2)}} \frac{\pi}{e^{-\tau^* \sec \varphi}}, \quad (16)$$

где  $J^{(1)}$  — спектральная интенсивность восходящего излучения, обусловленного рассеянием прямой солнечной радиации (определяется составляющими  $i_0^{(1)}$  на рис. 4);

$\Delta q$  — спектральная интенсивность восходящего излучения, обусловленного рассеянием радиации, отраженной от земной поверхности (определяется составляющими  $i_q^{(1)}$  на рис. 4);

Таблица 2

Монохроматические значения коэффициента задымленности при разных условиях наблюдения и состояниях вертикальной прозрачности атмосферы

№№ п/п	$\tau$	$Z_{\odot}$ ( $^{\circ}$ )	$q$								
			0,2			0,4			0,6		
			$\varphi$ , град								
			0	15	30	0	15	30	0	15	30
1	0,2	30	0,098	0,100	0,108	0,128	0,132	0,144	0,161	0,163	0,180
2		45	0,101	0,104	0,116	0,131	0,136	0,151	0,161	0,166	0,187
3		60	0,122	0,127	0,144	0,151	0,157	0,178	0,181	0,188	0,212
4		75	0,256	0,267	0,304	0,289	0,301	0,343	0,322	0,335	0,382
5	0,3	30	0,165	0,167	0,174	0,212	0,217	0,238	0,260	0,268	0,298
6		45	0,170	0,175	0,195	0,215	0,220	0,259	0,268	0,274	0,326
7		60	0,199	0,208	0,250	0,254	0,270	0,310	0,310	0,327	0,372
8		75	0,390	0,400	0,445	0,438	0,457	0,514	0,488	0,522	0,580
9	0,4	30	0,241	0,246	0,264	0,323	0,333	0,368	0,405	0,420	0,471
10		45	0,244	0,246	0,282	0,321	0,334	0,384	0,403	0,420	0,486
11		60	0,299	0,315	0,371	0,379	0,399	0,470	0,459	0,483	0,568
12		75	0,525	0,549	0,632	0,599	0,627	0,725	0,675	0,707	0,820
13	0,6	30	0,433	0,467	0,530	0,654	0,708	0,817	0,876	0,949	1,104
14		45	0,461	0,496	0,572	0,681	0,736	0,857	0,890	0,975	1,141
15		60	0,543	0,590	0,695	0,758	0,824	0,972	0,973	1,058	1,249
16		75	0,884	0,959	1,120	1,087	1,181	1,332	1,290	1,401	1,696
17	0,8	30	0,836	0,893	1,076	1,376	1,474	1,799	1,912	2,129	2,319
18		45	0,868	0,922	1,126	1,405	1,495	1,845	1,940	2,076	2,563
19		60	1,097	1,177	1,461	1,660	1,783	2,215	2,218	2,382	2,960
20		75	1,511	1,616	1,984	2,006	2,149	2,648	2,500	2,681	3,310

$F^{(2)}$  — спектральная прямая и рассеянная (определяется составляющими  $i_0^{(2)}$  и  $i_q^{(2)}$  на рис. 4) освещенность земной поверхности;  
 $\varphi$  — угол наблюдения.

Величина  $\Delta q$  определялась приближенно с помощью выражения

$$\Delta q \approx \frac{\Gamma_1}{\Gamma_2} C^* B_0^{(2)},$$

Таблица 3

Характеристики состояния атмосферы, для которых определялись значения коэффициента задымленности

$\tau^*$	№ индикатрис рассеяния*	Горизонтальная дальность видимости — $S_{\lambda}$ , км	$\frac{\Gamma_1}{\Gamma_2}$
0,2	V	100	1,8
0,3	VI	50	2,5
0,4	VI	50	2,5
0,6	VII	20	4,7
0,8	VIII	10	8,4

\* Индикатрисы взяты из работы Foitzik и Zshaeck (1953).

где  $\frac{\Gamma_1}{\Gamma_2} = \frac{\int_0^{\frac{\pi}{2}} \gamma(\theta) \sin \theta d\theta}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} \gamma(\theta) \sin \theta d\theta}$  — параметр, характеризующий степень вытянутости индикатрисы;

$C^*B_0^{(2)}$  — спектральная интенсивность нисходящего излучения, обусловленного рассеянием радиации, отраженной от земной поверхности.

Характеристики состояния атмосферы, для которых определялись значения  $r_{д\lambda}$ , приведены в табл. 3. При этом в связи с отсутствием в работе Фейгельсон и др. (1958) данных для значения  $\tau^*=0,3$  соответствующие ему  $r_{д\lambda}$  были получены интерполированием.

Учитывая, что при умеренной величине угла визирования значения остальных величин мало зависят от азимута плоскости наблюдения, расчеты производились для одного значения азимута, равного  $90^\circ$ .

Переход от спектральных значений коэффициента задымленности приведенных в табл. 2, к интегральным целесообразно производить исходя из значения  $r_{д550}$ , соответствующего длине волны  $\lambda=550$  нм, для которой имеются наиболее многочисленные данные о прозрачности атмосферы. В этом случае интегральное значение  $r_{\sigma}$ , соответствующее спектральной чувствительности средств наблюдения  $S_{\lambda}$ , определится выражением

$$r_{д} = \frac{B_{д}}{B_0} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r_{д\lambda} E_{\lambda} S_{\lambda} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda} S_{\lambda} d\lambda} = r_{д550} \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r_{д\lambda}^{0,7H} E_{\lambda} S_{\lambda} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda} S_{\lambda} d\lambda} = r_{д550} a_{д}, \quad (17)$$

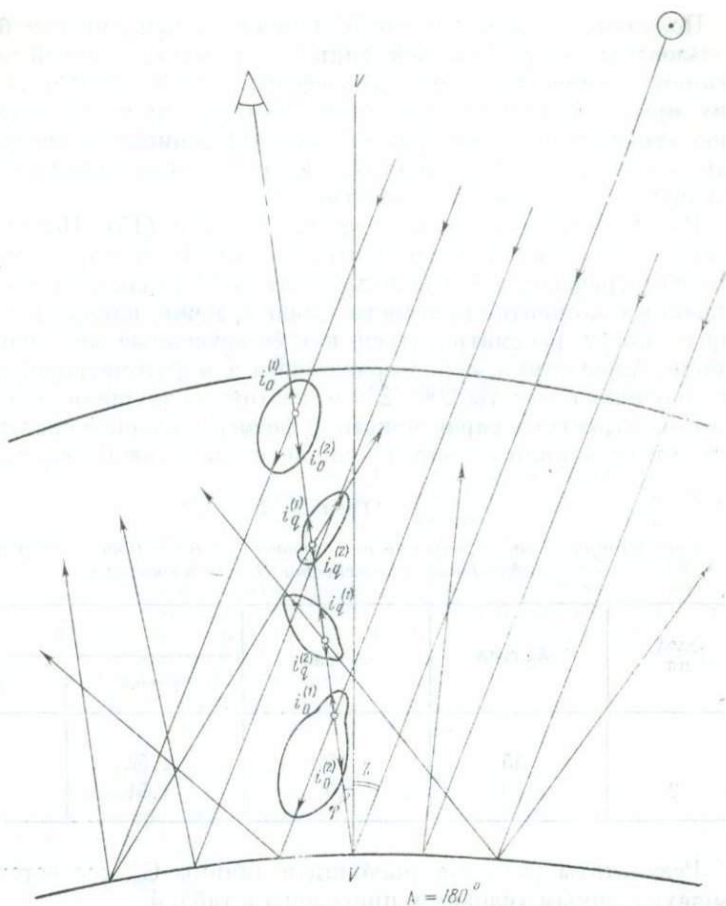


Рис. 4. Схема образования воздушной дымки

где  $\lambda_1, \lambda_2$  — длины волн, соответствующие пределам светочувствительности системы наблюдения;  $r_{\text{д}}^{\text{отн}} = \frac{r_{\text{д}\lambda}}{r_{\text{д}\lambda_{\text{во}}}}$  — относительные значения спектрального коэффициента задымленности.

Для определения коэффициента  $a_{\text{д}}$  при решении многих задач можно использовать типичные средние значения спектральных характеристик воздушной дымки и освещенности. В частности, удовлетворительные результаты дает описание спектрального распределения яркости воздушной дымки путем использования распределения, соответствующего яркости неба и характеризуемого цветовой температурой абсолютно черного тела, равной 15 000 К. В случае применения аэрофотоленки тип 20 в сочетании со светофильтром ОС — 14, коэффициент  $a_{\text{г}} \approx 0,64$ .

Полученные значения коэффициента задымленности были использованы для расчета величины  $C_d$ , соответствующей двум значениям оптической толщи атмосферы:  $\tau^* = 0,3$  и  $0,8$ . Первое из них, при  $\lambda = 550$  нм, соответствует нормальному типичному состоянию атмосферы, характеризуемому коэффициентом прозрачности, равным  $0,74$ . Второе из значений является предельным, соответствующим сильно замутненной атмосфере.

Расчет производился по формулам (8) и (15). Исходные значения контраста и коэффициентов яркости были определены методом фотографической фотометрии для 500 различных узких протраженных элементов местности (дороги, межи, канавы и т. п.), которые могут рассматриваться как естественные элементы разрешения. Аэроснимки, использовавшиеся для фотометрирования, были получены с высоты  $200-250$  м, поэтому воздушная дымка и частотно-контрастные характеристики фотографической системы практически не влияли на определявшиеся значения  $K_i$ ,  $r_{zi}$ ,  $r_{fi}$ .

Таблица 4

*Влияние вертикальной прозрачности атмосферы на величину разрешения при наблюдении поверхности Земли из космоса*

№№ п/п	$Z_{\odot}$ град	$\varphi$ , град	$C_d$	
			$q = 0,2$	$q = 0,4$
1	45	15	1,52	1,69
2	75	15	1,51	1,61

Результаты расчетов значений величины  $C_d$ , соответствующих вышеуказанным условиям, приведены в табл. 4.

Из табл. 4 следует, что относительное ухудшение разрешения на местности вследствие влияния воздушной дымки может превышать  $50\%$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные литературные данные о величине фотографической рефракции и произведенная в настоящей работе оценка оптических эффектов, обусловленных турбулентностью атмосферы, свидетельствуют о том, что эти два явления практически не являются помехой при наблюдении из космоса. В то же время показано, что изменения вертикальной прозрачности атмосферы существенно влияют на информационные свойства получаемых материалов. Поэтому необходимо прогнозировать состояние прозрачности атмосферы и учитывать его при планировании и осуществлении съемок.

Полученные значения коэффициентов задымленности, как функции оптической толщи атмосферы, альbedo земной поверхности, зенитного расстояния Солнца и угла визирования, могут применяться при оценке влияния воздушной дымки на информационные свойства средств наблюдения и решении различных фотометрических задач.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Ахундова Г. В., Дарчия Ш. П.* Предварительные результаты обработки визуальных наблюдений качества изображения звезд.— Изв. АН АзССР. Сер. физ.-мат. и техн. наук, 1961, № 1.
- Береговой Г. Т., Бузников А. А., Васильев О. Б.* и др. Исследования природной среды с пилотируемых орбитальных станций. Л., Гидрометеиздат, 1972.
- Геодезия. Справочное руководство, т. V. Аэрофотография. М.—Л., Изд-во Наркомхоза РСФСР, 1939.
- Данжон А., Кудэ А.* Атмосферное волнение.— Астрон. ж., 1940, т. 17, № 1.
- Дарчия Ш. П.* Наблюдение мерцания звезд в экспедициях ГАО АН СССР (1956—60 гг.).— В сб. Оптическая нестабильность земной атмосферы. М., «Наука», 1965.
- Демидова А. Н.* Изображение края Луны и слои неоднородности в атмосфере. Труды совещания по атмосферной оптике. М., «Наука», 1968.
- Истомина Г. А.* Разрешающая способность и дешифрируемость аэроснимков.— Тр. ЦНИИГАиК, вып. 107. М., Изд-во Геодезич. л-ры, 1955.
- Каллистратова М. А.* Измерения дрожания края солнечного изображения.— Тр. совещания по атмосферной оптике. М., «Наука», 1968.
- Кель Н. Г.* Обратная пространственная фотограмметрическая засечка и рефракция.— Тр. Лаборатории аэрометодов АН СССР, т. 1. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1949.
- Кожевников Н. И.* Некоторые результаты прямых наблюдений флуктуаций показателей преломления приземных слоев атмосферы в дневное время и параметры распределения флуктуаций.— В сб. Оптическая нестабильность земной атмосферы. М., «Наука», 1965.
- Колчинский И. Г.* Исследование дрожания звезд в телескопах.— Тр. ГАО, т. III, вып. 2. Л., Изд-во АН СССР, 1961.
- Колчинский И. Г.* Рефракция света в земной атмосфере. Киев, «Наукова думка», 1967.
- Колчинский И. Г.* Поправки за рефракцию при наблюдении объектов на высоте 5—300 км.— Геодезия и картография, 1968, № 1.
- Крат В. А.* О влиянии движений в земной атмосфере на наблюдение Солнца.— Тр. совещания по исследованию мерцания звезд. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Крат В. А., Султанов Г. Ф., Сорин С. И.* Об экспедиционных работах по исследованию астроклимата Азербайджана и выбора места строительства Шемакинской астрофизической обсерватории.— Изв. АН АзССР. Сер. физ.-мат. и техн. наук, 1960, № 3.
- Кузнецов Е. С., Овчинский Б. В.* Результаты численного решения интегрального уравнения теории рассеяния света в атмосфере.— Тр. Геофиз. ин-та. № 4. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1949.
- Кузнецов Ю. И.* Коэффициенты задымленности атмосферы при аннотропном рассеянии света.— Тр. МИИГАиК, вып. 56. М., Изд-во КПЛ МИИГАиК, 1969.
- Кучко А. С.* Аэрофотография. М., «Недра», 1974.
- Куштин И. Ф.* Рефракция световых лучей в атмосфере. М., «Недра», 1971.
- Матвеев В. А.* Искажение аэроснимков, обусловленное рефракцией в атмосфере.— Геодезия и картография, 1968, № 7.

- Матиясевич Л. М.* Основы теории фотометрии при фотонаблюдении из космоса.— В сб. Космические исследования земных ресурсов. М., «Наука», 1976.
- Мельников О. А., Колчинский И. Г., Кучаров Н. И.* Мерцание и дрожание изображения звезд. Астроклимат.— Тр. совещания по исследованию мерцания звезд. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Михайлов В. Я.* Аэрофотография и общие основы фотографии. М., Геодезиздат, 1959.
- Скоропунов М. В.* Об астроклимате Новосибирска.— В сб. Оптическая нестабильность земной атмосферы. М., «Наука», 1965.
- Татарский В. И.* Интерпретация наблюдений мерцания звезд и удаленных наземных источников света.— Тр. совещания по исследованию мерцания звезд. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Татарский В. И.* Теория флуктуационных явлений при распространении волн в турбулентной атмосфере. М., «Наука», 1969.
- Урмаев Н. А.* Элементы фотограмметрии. М., Геодезиздат, 1941.
- Фейгельсон Е. М., Малкевич М. С., Коган С. Я.* и др. Расчет яркости света в атмосфере при анизотропном рассеянии.— Тр. Ин-та физики атмосферы, ч. 1, № 1. М., Изд-во АН СССР, 1958.
- Bertram S. B.* Atmospheric Refraction.— Photogramm. Eng., 1966, v. 32, N 1.
- Jones B. L.* Photogrammetric Refraction Angle Satellite viewed from Earth.— J. of Geophys. Res., 1961, v. 66, N 4.
- Foitzik L., Zshaeck H.* Messungen der spektralen Zerstreuungsfunktion bodennaher Luft bei guter Sicht, Dunst und Nebel.— Zeitschrift für Meteorologie, 1953, B. 7, N 1.



*И. А. Некрасов*

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ГЕОКРИОЛОГИИ

Геокриология — наука, изучающая криосферу Земли, сферу мороза, сферу льда. Вечная мерзлота — многолетнемерзлые горные породы — криолитозона — синонимы, должны обозначать основной объект исследования этой науки. Под криолитозонной ныне принято понимать толщу горных пород любого генезиса и литологического состава, выделяемую лишь по тому признаку, что ее температура в течение длительных периодов — от нескольких лет до тысячелетий никогда не поднимается выше 0° С.

Криолитозона занимает в нашей стране более 40% территории, или 85% территории Сибири, представляя собой важный фактор природной обстановки. При всякого рода освоении территории, начиная от формирования производственно-территориальных комплексов до размещения отдельных объектов, необходимо иметь полное представление о таких параметрах криолитозоны, как ее морфология (распространение в плане, мощность, характер прерывистости — талики), температурный режим, льдистость (количественное содержание льда в горной породе, формы залегания, гене-

зис крупных ледяных тел), а также о развитии так называемых криогенных образований и явлений. Даже этот краткий перечень показывает, что для детального исследования криолитозоны необходима система горных выработок, причем часть этих выработок должна освещать весь разрез мерзлой толщи. В результате — геокриологическая съемка оказывается значительно дороже, чем, например, гидрогеологическая или геологическая съемки, поэтому мерзлотоведы всегда старались найти и разработать методы, позволяющие проводить геокриологическую съемку более оперативно и с меньшими затратами сил и средств.

Именно в связи с этим еще в 40-х годах мерзлотоведы одними из первых стали применять аэрофотоснимки для изучения криолитозоны. К сожалению, параметры криолитозоны, такие, как ее мощность и температура, не имели прямых дешифровочных признаков и поэтому картирование мерзлых толщ велось при помощи геоморфологических и геоботанических методов, т. е. по косвенным признакам. Из элементов рельефа наибольшее значение придается микрорельефу, который в ряде случаев имеет криогенное происхождение и поэтому тесно связан в своем развитии с наличием многолетнемерзлых пород (трещинные и валиковые полигональные системы, бугры пучения и байджарахи, наледи и т. п.).

В конце 50-х годов появляются первые публикации на эту тему (Барыгин, 1953; Братцев, 1959; Протасьева, 1959б). Тогда же было отмечено, что сравнение спектрзональных, цветных трехслойных и черно-белых аэрофотоснимков показало, что наибольшее преимущество среди них принадлежит спектрзональной аэрофотосъемке, что особенно четко проявилось в условиях тундрового ландшафта (Протасьева, 1959а).

Своеобразным рубежом в применении аэрофотосъемки в геокриологии следует считать выход в свет монографии Протасьевой (1967), в которой были четко оценены возможности этого метода. Характерно, что за последние годы в советской литературе не появилось ни одной сколь-нибудь значительной работы по применению аэрометодов в геокриологии, что, по-видимому, закономерно, так как аэрофотосъемка (если иметь в виду черно-белые аэрофотоснимки) как была, так и осталась лишь вспомогательным методом при геокриологических исследованиях, причем применяется она исключительно при изучении небольших по площади участков. Этот вывод ныне разделяют как советские мерзлотоведы, так и их коллеги за рубежом. Например, совсем недавно Brown (1974) вновь отметил ограниченные возможности черно-белых аэрофотоснимков. О необходимости искать новые методы пишет и Svensson (1969, 1972, 1973), большой сторонник аэрофотометодов, с помощью которых им сделано немало оригинальных выводов как о многолетнемерзлых породах по Скандинавии, так и по Исландии. При этом вновь упоминаются и такие методические трудности, как малая площадь одного аэроснимка, что требует для средне- и мел-

комасштабного картирования сколь-нибудь крупных территорий обработки многих сотен, а чаще тысяч снимков.

В последние годы наблюдается некоторое повышение интереса к аэрометодам в геокриологии. С одной стороны, это связано с появлением космической съемки, т. е. с возможностью получать снимки на значительные по площади территории. Напомним, что при фотографировании с высот 200—250 км при формате кадра 60×70 мм в М 1 : 7 000 000—1 : 8 000 000 (в подспутниковой точке) одна фотография охватывает площадь в 250 тыс. км<sup>2</sup> (Виноградов и др., 1973). Принято считать (Кондратьев, 1971), что одна спутниковая фотография заменяет 3200 обычных аэрофотосъемочных фотографий, обеспечивая, кроме того, гораздо более однородный материал. С другой стороны, этот интерес связан с появлением новых способов съемки, таких, как многозональное фотографирование, ТВ- и ИК-съемки, радиолокация, многоспектральная съемка и спектрофотометрия.

Рассмотрим кратко возможности этих методов с точки зрения применения их для геокриологических исследований, в основном для мелкомасштабного (не мельче М 1 : 2 500 000) геокриологического картирования.

*Черно-белые космические снимки в видимой части спектра*, приведенные к М 1 : 1 000 000, не позволяют получить какую-либо информацию о собственно криолитозоне. Но что касается криогенных явлений и процессов, то на этих снимках обнаруживаются такие детали, которые ни на местности, ни на аэрофотоснимках, ни на картах ранее не замечались. Например, на космических снимках Центральной Якутии, выполненных в зимний период, было обнаружено, что все аласы в Приалданской части низменности сконцентрированы вдоль четко выраженных параллельно друг другу линий, тянущихся порой на 120—150 км. Эти линии, начинаясь на левобережье р. Лены у долины р. Кенкеме, пересекают долину р. Лены (под азимутом 120°), переходят на правобережье, заканчиваясь у уступа Абалахской террасы. Четко выделяется, по крайней мере, 6 таких линий, отстоящих друг от друга на расстоянии 5—7 км. Северная из этих линий начинается из района оз. Белого (у устья р. Кенкеме) и заканчивается в 5 км севернее оз. Мюрю. Вторая проходит на правом берегу через озера Биетте, Дулага, Мюрю. Наиболее южная линия идет через оз. Джебиге. Природа этих аласных линий пока остается неясной. Возможно, что они отражают глубинные структуры фундамента.

*Многозональная аэрофотосъемка*, т. е. одновременная съемка в разных (весьма узких) зонах спектра в видимой его части, по-видимому, найдет применение в геокриологическом картировании. Анализ такого рода снимков (Виноградов, Григорьев, 1974) показал, что с увеличением числа зон сенсibilизации повышается вероятность правильной интерпретации географических объектов, в основном в идентификации растительных ассоциаций и почвенного покрова. В последнем случае удается различать почвы раз-

личной степени увлажненности. Но оба эти фактора — растительность и влажность почвы — являются основными косвенными признаками наличия или отсутствия многолетнемерзлых пород и показателем температуры почвогрунтов.

*ИК-съемка* — на наш взгляд, самое перспективное для геокриологии направление. В настоящее время принято различать ИК-аэрофотосъемку, регистрирующую с помощью обычных аэрофотоаппаратов на специальную пленку отраженное ИК-излучение Солнца с длиной волны не более 1 мк и ИК-аэрофотосъемку, регистрирующую собственное ИК-излучение земной поверхности.

Высказывались рекомендации (Шилин, Кориженский, 1973), что лучше ИК-съемку вести ночью, когда отсутствует влияние Солнца и наблюдаемые контрасты обусловлены излучением поверхности, отдающей тепло в атмосферу. Но и в этом случае абсолютные значения температуры поверхности получить не удастся, а картируются лишь относительные различия температуры (с точностью до десятых долей градуса).

Общепризнано, что самыми информативными являются цветные ИК-изображения, причем по утверждению специалистов именно эти изображения дают возможность изучать поле температуры подстилающей поверхности, регистрируя перепады температуры до  $0,1^\circ$ . Проведенные в нашей стране эксперименты, в частности совмещенные подспутниковые, когда в работе принимали участие самолеты и вертолеты, ведущие съемку с разной высоты, позволили в ряде случаев определить температуру поверхности (Кондратьев и др., 1971б). Съемка при этом эксперименте проводилась в 2 каналах: аэрофотосъемка в диапазоне 0,59—0,68 мк и ИК-съемка сканирующим радиометром в диапазоне 2,8—5,6 мк.

В то же время, несмотря на множество обнадеживающих отзывов о возможностях ИК-съемки, в советской литературе не приводится примеров детальной интерпретации данных такого рода наблюдений для конкретного участка суши, тем более для области развития многолетнемерзлых пород. Можно найти лишь несколько примеров для морских акваторий (Шилин, Кориженский, 1973 и др.).

*Радиотеплокацию* принято считать также одним из перспективных для геокриологии направлений. В основе этого метода лежат спектральные измерения микроволнового излучения в миллиметровом и сантиметровом диапазонах. Измерения проводятся радиометрами, которые измеряют радиояркостную температуру обычно на волнах 8,5, 3,4 и 0,8 см. Радиояркостная температура тесно связана с температурой и влажностью поверхности. Характерно, что влажность почвы не влияет на ее излучательную способность на волне 0,8 см и заметно влияет лишь на более длинных волнах. Поэтому, если яркостные температуры, полученные на волнах 8,5 и 3,4 см, отнести к температуре на волне 0,8 см, которая близка к температуре почвы, то можно оценить и влажность (Белякова и др., 1971). Эксперименты, проведенные со спутников над Европой

ской территорией СССР (Башаринов, Шутко, 1971), показали, что эти теоретические предпосылки имеют отражение и в натуральных измерениях. Отмечаются значительные вариации радиояркостной температуры (до 50 К), которые можно связать с природными объектами по профилю измерений.

И опять, оценивая возможности этого метода для геокриологического картирования территории, приходится констатировать, что при наблюдениях такого рода со спутников имеет место осреднение температур по весьма большому пятну. В экспериментах, о которых говорилось выше, такое осреднение проводилось по эллипсу с полуосями 33 и 25 км при ориентации длинной оси по направлению полета. В этих условиях масштаб получаемого картоизображения, на котором не будет заметно это осреднение, приближается к М 1 : 30 000 000, т. е. к масштабу, который весьма далек от нужд геокриологического картирования на современном этапе.

В связи с этим несколько неясны методы радиометрии, которые, как утверждают А. Башаринов с соавторами (1972), им удалось, работая в диапазоне сантиметровых и дециметровых волн, проводить границы раздела между мерзлыми и талыми грунтами. Они же считают, что при работе на нескольких длинах волн существует принципиальная возможность оценивать мощность криолитозоны.

Аналогичные утверждения приводят Богородский с соавторами (1973), которые предлагают использовать радиолокационное зондирование для измерения толщины пресного льда, при его мощности от 0,3 м (на пресных озерах) до 4000 м (ледники Антарктиды). Работая с аппаратурой в метровом диапазоне, им удалось определить не только мощность льда, но и слои неоднородности в леднике и среднюю эффективную температуру толщи ледника (по удельному поглощению радиолокационного сигнала во льду). Они также считают возможным создание аппаратуры для определения мощности криолитозоны.

*Спектрофотометрия*, или оптическое измерение спектрального излучения системы Земля — атмосфера получило в последние годы весьма широкое развитие для оценки термического режима поверхности (Кондратьев и др., 1971а; Исследования природной..., 1972; Виноградов и Кондратьев, 1971). Такие измерения проводятся с помощью различных спектрографов, которые позволяют получать спектр фотометрируемого объекта в какой-то определенной спектральной области.

Принято считать (Исследования природной..., 1972), что большая изменчивость кривых спектрального альбедо и коэффициентов спектральной яркости природных образований в зависимости от различных факторов позволяют определить ряд физических характеристик исследуемых поверхностей по особенностям их спектров отражения, но одновременно и значительно затрудняют идентификацию полученных спектральных кривых с соответствующими им типами природных образований.

В отечественной литературе можно найти несколько сообщений по интерпретации спектрографических измерений. Так, например, Кондратьев с соавторами (1971а) приводят результаты спектрографирования подстилающей поверхности, выполненное из космоса на участке от Аравийского полуострова до Аральского моря ручным спектрографом РСС-2. Измерения показали, что диапазон яркости изменяется от 0,5 (каменистая пустыня) до 2,5 (облака) Вт/м<sup>2</sup>·нм·ср·10. Измерения проводились при  $\lambda$  от 0,45 до 0,7 мк. И хотя спектральные контрасты достигали от 0,1 до 0,8, авторы делают вывод, что атмосфера искажает ход кривых спектральной яркости и снижает спектральные контрасты. В целом по имеющимся данным, пока что можно получать лишь самую общую характеристику подстилающей поверхности и применение данных такого рода для картирования значительных по площади территорий пока затруднительно.

Делаются попытки по излучению в полосе 8—12 мк рассчитать поле радиационной или эффективной температуры, которая эквивалентна температуре абсолютно черного тела, и, в свою очередь, может служить характеристикой термического режима подстилающей поверхности или верхней границы облаков. В настоящее время разработана методика таких вычислений и имеется несколько примеров построения средних месячных карт радиационной температуры для всей Земли (Белич, 1970; Бугаев, Резанова, 1970). Но масштаб таких карт чрезвычайно мелкий (порядка 1:300 000 000), поэтому и эта методика в том виде, как она применяется сейчас для целей геокриологического картирования в М 1:1 000 000 или 1:2 500 000, применима быть не может.

Представляется интересным проследить, как развиваются аэрокосмические исследования для целей геокриологии за рубежом. Судя по докладам, представленным на 2-й международной конференции по мерзлотоведению (Якутск, 1973), применение этих методов в США и Канаде находится на более высоком уровне (Ferrigans, Hobson, 1973). Черно-белая и цветная аэрофотосъемки применяются здесь также с 50-х годов. Аэрофотосъемка в этих странах стала основным, повсеместно принятым приемом геокриологического картирования, но за последние десятилетия и здесь о ней писали сравнительно мало. Примером недавнего сообщения, кроме работы Brown (1974), может быть работа Fletcher (1964), в которой описывается использование аэрофотоснимков для инженерно-геологических исследований грунта в арктических районах Канады. В некоторых арктических районах применялась цветная фотография, хотя применение цветных снимков за рубежом, как и в СССР, не получило широкого распространения (Brown, 1974). Первыми в США возможность цветной аэрофотосъемки и цветных инфракрасных изображений оценили Horvath, Low (1968). Позже Greene (1971, 1972) установил пригодность цветной ИК-фотографии и ИК-тепловых снимков для решения инженерных проблем в области развития вечной мерзлоты. Проводя исследования вдоль

предполагаемой трассы Трансаляскинского трубопровода, он пришел к выводу, что ИК-съемка является ценным источником информации о инженерно-мерзлотных условиях и рекомендует ее для выбора и проектирования трасс в Арктике.

Аналогичные исследования были выполнены и Friedman с соавторами (1971), которые вели цветную съемку в видимом диапазоне и в ближней ИК-области (в диапазонах 5,1–6,8 и 7,0–9,0 мк). Эта съемка позволила выявлять невидимые на простых снимках полигоны и тем самым оконтуривать районы с разницей температуры поверхности до  $0,5^{\circ}$ .

LeSchack, Morse (1972), LeSchack с соавторами (1973) разработали методику 2-канального ИК-сканирования для обнаружения льда в толще вечномерзлых грунтов. Они утверждают, что им удалось оконтуривать границы массивного, полигонально-жильного льда на одном из участков на плато Шоу Крик в глубине Аляски. Запись велась одновременно в диапазонах 4,5–5,5 и 8–12 мк с делением сигнала первой полосы на сигнал второй. Получаемый в результате сигнал картировался и сравнивался с изображением, полученным по данным полосы 8–12 мк, или с изображением, полученным умножением двух сигналов. На приводимых в работе снимках хорошо видны термические аномалии, а также полигоны, которых не видно на простых аэрофотоснимках. Все эти явления, по мнению исследователей, связаны с тем, что летом над льдом температура грунтов на  $0,5$ – $4,0^{\circ}$  ниже, чем на участках без льда, при глубине залегания льдов от 0,3 до 2,4 м.

Данные о реликтовых и современных трещинных полигонах, видимых только на ИК-снимках, приводит Svensson (1969, 1972, 1973). Он считает, что в том случае, когда полигоны оттены растительностью, лучшие результаты получаются при съемке на цветную пленку с отрицательно голубым фильтром в ближней ИК-области (0,7–0,8 мк).

В отдельных случаях для исследования вечномерзлых грунтов за рубежом пользуются методом радиолокационной съемки бокового обзора, который, как считают, пригоден для таких целей. Не исключено, что полигонально-жильные льды, слабо выраженные на поверхности, могут быть обнаружены именно радаром бокового обзора с малой высоты.

Ferrians (1972) и Naugen с соавторами (1972) изучали возможность применения аэрокосмических снимков  $M \sim 1:1\ 000\ 000$  для выявления динамики криогенных процессов на Аляске.

Некоторое развитие за рубежом получили опыты с аэросъемкой с использованием низкочастотных радиостанций. Основные труды в этой области принадлежат Barringer (1971a, b), Barringer, McNeill (1971), Frischknecht, Stanley (1971) и Hoekstra, McNeill (1973). Основная задача сводилась к попытке определить существование связей между «фазой  $E$ », фазой радиосигнала и установленными участками развития вечной мерзлоты с помощью «теории наклона волны». Измерения наклона волны, теоретически и прак-

тически, по-видимому, позволяют определить электрическое сопротивление почв. Уже на самом раннем этапе исследований был сделан вывод, что этот метод следует применять только зимой или ранней весной, когда слой летнего оттаивания находится в мерзлом состоянии. Blomquist (1970) показал, что наклон волны меняется почти мгновенно при прохождении границы неоднородности в грунте и что угол наклона определяет величину диэлектрической константы. Jones, Price (1971) высчитали кривые для компоненты поля на поверхности, которые показывают явное нарушение непрерывности в горизонтальном электрическом поле на стыке двух геологических горизонтов. Frischknecht, Stanley (1971) сообщают, что им удалось обнаружить по крайней мере один свободный от льда участок при помощи низкочастотных сигналов во время аэро-съемки и что этот факт подтвердился при измерении сопротивлений.

Заканчивая обзор новых методов и перспектив их применения в геокриологии, следует заметить, что космические средства получения географической информации настолько разнообразны и эффективны, что главную проблему в настоящее время представляет не столько получение новых данных, сколько разработка методики их обработки. Уже сейчас в этой сфере намечается значительный разрыв между высокой скоростью получения изображения и большой продолжительностью их обработки, особенно при отсутствии четко разработанной методики.

Следует отметить и тот факт, что отечественные оптико-механические приборы при трансформации мелкомасштабных снимков, выполненных с большой высоты, не дают возможности устранять смещения, возникающие из-за кривизны фотографируемой поверхности (Шустова, 1973), что усугубляется к тому же неточной ориентировкой оси фотографирования.

Итак, что же дают все эти новые методы для геокриологии? К сожалению, прямого и однозначного ответа на этот вопрос пока что дать невозможно. Можно лишь говорить о перспективах всех этих методов, хотя в смежных науках в ряде случаев при использовании этих методов отмечается значительный прогресс.

Для геокриологии, судя по всем приведенным выше сообщениям, наибольший интерес представляют три вида съемки — ИК-, радиотеплокационная и многозональная. При этом ИК-съемка должна проводиться одновременно в разных зонах спектра, как в ближней ИК-области (0,7—1,3 мк), так и в собственно ИК-области (3,4—5,6 и 10,5—12,5 мк), так как лишь в этом случае сопоставление снимков, сделанных в разных зонах спектра и взаимно дополняющих друг друга, позволяет выявить многие, незаметные на одном снимке детали и оценить тепловое состояние поверхности, а отсюда и конфигурацию, взаиморасположение и контрасты тепловых полей. Наибольшую информативность, как показала практика, несут цветные ИК-снимки.

Разработка применения космических методов в геокриологии

представляется нам в следующей последовательности:

*Первый этап* — разработка приемов и методов, позволяющих отличать на снимках (спектрозональных, инфракрасных и др.) районы, занятые многолетнемерзлыми грунтами, от районов таликов или массивов немерзлых горных пород. Эта цель может быть достигнута косвенным методом, через определение влажности верхних горизонтов, или прямой регистрацией температурных полей поверхности (многозональная и ИК-съемки). Уточнение этих определений возможно по ландшафтным признакам (растительность и почвы), а также по наличию криогенных форм рельефа.

*Второй этап* — разработка методов дифференциации собственно многолетнемерзлой толщи по ее параметрам: а) по мощности — с использованием методов радиотеплокалии, б) по температуре — по данным цветной ИК-съемки и по спектральному излучению, в) по льдистости отложений с отбивкой контуров наиболее льдистых горных пород — по ландшафтному методу с использованием цветных многозональных снимков.

После разработки вышеперечисленных методов можно будет приступить к мелкомасштабному картированию территории СССР, разбив эти работы на два периода. В первый период проводится картирование южного обрамления области многолетнемерзлых пород, учитывая, что здесь в основном будет необходимо только выделение островов и массивов многолетнемерзлых пород на фоне немерзлых, талых пород, а кроме того именно эти районы представляют значительный первоочередной интерес для их освоения. Масштаб картирования 1 : 2 500 000—1 : 1 000 000.

Во второй период картируется область сплошной криолитозоны, т. е. область арктических районов Средней Сибири, Якутии и Северо-Востока СССР.

Несомненно, что выполнение всех этих разработок невозможно без получения высококачественных аэрофотографий, выполненных в различных зонах спектра с различных летательных аппаратов — вертолетов, самолетов и ИСЗ.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Барыгин В. М. Опыт использования аэрофотосъемки при исследовании вечной мерзлоты в Воркутинском районе. М., Изд-во АН СССР, 1953.
- Башаринов А. Е., Курская А. А., Шемшурин А. В., Шутко А. М. Возможность применения методов СВЧ-радиометрии для исследования районов вечной мерзлоты. — В сб. Тезисы докладов к 3-му республиканскому совещанию по произв. инж.-геол. изыск. в р-нах распростр. вечномерзл. грунтов. Чита, 1972.
- Башаринов А. Е., Шутко А. М. Измерение влажности покровов методами сверхвысокочастотной радиометрии. — Метеорология и гидрология, 1971, № 9.
- Белич Р. Б. Геофизические факторы, формирующие поля радиационных температур в интервале 8—12 мкм. — Тр. ЦАО, вып. 86. Вопросы спутниковой метеорологии. М., Гидрометеиздат, 1970.
- Белякова Г. М., Гуревич А. С., Матвеев Д. Т., Миронов Б. П. Исследование микроволнового излучения со спутника «Космос-243» над культурным ландшафтом. — ДАН СССР, 1971, т. 201, № 4.

- Богородский В. В., Трепов Г. В., Федоров Б. А., Хохлов Г. П.* Радиолокационное зондирование льда и возможности зондирования многолетне-мерзлых пород.— Доклады и сообщения II-й Междунар. конф. по мерзлотоведению, вып. 6. Якутск, 1973.
- Братцев Л. А.* Применение аэрофотосъемки при проектировании шахт в условиях вечной мерзлоты Печерского угольного бассейна.— Тр. Лаб. аэрометодов АН СССР, т. VII. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1959.
- Бугаев И. В., Резанова Л. А.* Сезонные преобразования полей радиационных температур и облачности по материалам метеорологических искусственных спутников Земли.— Тр. ЦАО, вып. 86. Вопросы спутниковой метеорологии. М., Гидрометеониздат, 1970.
- Виноградов Б. В., Григорьев А. А.* Возможности геологического дешифрирования космических фотографий Земли.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1970, № 1.
- Виноградов Б. В., Кондратьев К. Я.* Космические методы земледования. Л., Гидрометеониздат, 1971.
- Виноградов Б. В., Григорьев А. А., Миронов Б. П.* и др. Опыт обновления карт физико-географического атласа мира по фотографиям пилотируемой орбитальной станции «Салют».— ДАН, 1973, т. 211, № 4.
- Виноградов Б. В., Григорьев А. А.* Космические методы изучения природной среды.— В сб. Теоретические и общие вопросы географии, т. I. Современные методы географических исследований. М., ВИНТИ, 1974.
- Исследование природной среды с пилотируемых орбитальных станций.* Л., Гидрометеониздат, 1972.
- Кондратьев К. Я.* Исследование природной среды из космоса.— Метеорология и гидрология, 1971, № 7.
- Кондратьев К. Я., Бузников А. А., Волков В. В.* и др. Некоторые результаты спектрофотометрирования с космического корабля «Союз-7».— ДАН СССР, 1971а, т. 195, № 5.
- Кондратьев К. Я., Бузников А. А.* и др. Некоторые результаты совмещенного комплексного подспутникового геофизического эксперимента.— ДАН, 1971б, т. 196, № 6.
- Протасьева И. В.* Опыт применения цветных аэрофотоснимков при полевых геокриологических исследованиях в районе Воркуты.— В сб. Материалы по общему мерзлотоведению. М., Изд-во АН СССР, 1959а.
- Протасьева И. В.* Применение аэрометодов при геокриологических исследованиях.— В сб. Материалы по общему мерзлотоведению. М., Изд-во АН СССР, 1959б.
- Протасьева И. В.* Аэрометоды в геокриологии. М., «Наука», 1967.
- Шилин Б. В., Кориженский Е. Я.* Инфракрасная аэросъемка — новый метод изучения водных ресурсов.— В сб. Аэрофотосъемка — метод изучения природной среды. Л., «Наука», 1973.
- Шустова Л. И.* Трансформирование мелкомасштабных снимков.— В сб. Аэрофотосъемка — метод изучения природной среды.— Л., «Наука», 1973.
- Barringer A. R.* Interpretational report of an airborne VLF survey in the Iford, Long Spruce Rapids, Kelsey and Thompson areas, northern Manitoba.— Can. Geol. Surv., Int. Rep. 2, Ottawa, 1971а.
- Barringer A. R.* Sea ice thickness measurement using wave tilt techniques.— Rep. TR. 71—196 US Army CRREL, Hanover, New Hampshire, 1971б.
- Barringer A. R., McNeill J. D.* Radiophase a new system of conductivity mapping. In the IV<sup>th</sup> symp. on remote sensing of environment. Proc. University of Michigan, Ann-Arbor, 1968.
- Blomquist A.* Equipment for in-situ measurement of the dielectric properties of ground and ice. Int. Mtg. Glaciol. Lyngby, Denmark, 1970.
- Brown R. J. E.* Some aspects of airphoto interpretation of permafrost in Canada. In Techn. Paper No. 409 of the Div. of Building Res. Ottawa, Canada, 1974.
- Ferrians O. J. Jr.* ERTS and arctic engineering geology in Alaska. In Summaries 8<sup>th</sup> Int. symp. on remote sensing of environment. Ann-Arbor, Michigan, 1972.

- Ferrians O. J., Hobson Y. D.* Mapping and Predicting Permafrost in North America: A Review, 1963—1973. North American Contribution Permafrost Second Int. Conf. Washington, D. C., 1973.
- Fletcher R. J.* The use of aerial photographs for engineering soil reconnaissance in Arctic Canada.—*Photogr. Eng.*, 1964, 30/2.
- Friedman J. D., Johansson C. E., Oskarsson N.* et al. Observations on Icelandic polygon surfaces and palsa areas. Photo interpretation and field studies.—*Geogr. Ann.*, 1971, v. 53, ser. A, 3—4.
- Frischknecht F. C., Stanley N. D.* Airborne and ground electrical resistivity studies along proposed Trans-Alaska Pipeline System (TAPS) route. In Int. symposium on arctic geology (abstr.). San-Francisco, Calif., 1971.
- Greene J. W.* The application of infrared remote sensing techniques to permafrost—related engineering problems. In Second Int. symposium on arctic geology (abstr.). San-Francisco, Calif., 1971.
- Greene J. W.* Applications of infrared remote sensing methods to geological and engineering problems of the Arctic. In 4<sup>th</sup> Ann. earth resource program rev. Houston, Texas, NASA—MSC, 1972.
- Haugen R. K., Gatto L. W., Anderson D. M.* Gold regions environment analysis based on ERTS A imagery. In *Summaries 8<sup>th</sup> Int. Symp. on remote sensing of environment*. Ann-Arbor, Michigan, 1972.
- Hoekstra P., McNeill D.* Electromagnetic probing of permafrost. In North American Contribution Permafrost Second Int. Conf. Washington D. C., 1973.
- Horvath R., Low D. C.* Multispectral survey in the Alaskan Arctic. Proc. of the Fifth Sympos. on Rem. Sens. of Environment, 1968.
- Jones F. W., Price A. T.* Geomagnetic effects of sloping and shelving discontinuities of earth conductivity.—*Geophysics*, 1971, v. 36 (1).
- LeSchack L. A., Morse F. H.* Dual-channel airborne I-R scanning for detection of ice in permafrost (Alaska preliminary results).—*Am. Soc. Photogr. Proc.*, 1972, v. 38.
- LeSchack L. A., Morse F. H., Brinley W. R. Jr.* et al. Potential use of airborne dual-channel infrared scanning to detect massive ice in permafrost. North American Contribution Permafrost Second Int. Conf. Washington D. C., 1973.
- Svensson H.* A type of circular lakes in Northernmost Norway. *Geografiska Ann.*, Stockholm, 1969, v. 51a.
- Svensson H.* The use of stress situations in vegetation for detecting ground conditions on aerial photographs.—*Photogrammetria*, Amsterdam, 1972, 28.
- Svensson H.* Distribution and chronology of relict polygon patterns on the Laholm plain, the Sweden West Coast.—*Geografiska Ann.*, 1973, vol. 55, ser. A 3—4.



*С. А. Саркисян, Э. С. Минаев, С. С. Корунев,  
А. Г. Гуров*

## ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОЙ ИНДИКАЦИИ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

Эффективное использование природных ресурсов в значительной степени зависит от их своевременного выявления, оценки, рационального освоения и планирования потребления. Программы освоения природных ресурсов на первый план выдвигают

оперативный сбор информации о природной среде с громадных площадей земной и океанической поверхности.

Традиционные средства и методы исследования природных ресурсов, использующие, в основном, контактный принцип индикации природных объектов и явлений, требуют весьма серьезных материальных, трудовых и финансовых усилий, однако собираемая с их помощью информация далеко не всегда удовлетворяет требованиям качества и оперативности.

Как известно, в СССР и США в последние годы проведены успешные эксперименты по исследованию природных ресурсов Земли (ИПРЗ) и окружающей среды с помощью средств дистанционной индикации с борта искусственных спутников Земли, пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций («Метеор», «Союз», «Скайлэб», ЕРТС, «Салют»). Усиление прикладного характера космических исследований и уже имеющийся опыт народнохозяйственного использования космической техники (КТ) позволяют оптимистически оценить их экономическую сторону.

Уже предварительные расчеты показывают, что использование космической техники в различных областях принесет человечеству экономический эффект, достигающий нескольких миллиардов долларов (рис. 1).

Однако такая экономическая отдача КТ потребует решения целого комплекса проблем, связанных с созданием технически совершенных многоцелевых космических аппаратов; созданием систем наземной обработки и передачи информации, получаемой с помощью космической техники; подготовкой ведомств и организаций к использованию полученных результатов.

Начало использования информации, получаемой от КТ для решения задач ИПРЗ, также выявило целый комплекс сложных технических, юридических, правовых, политических и организационных проблем. В их числе прежде всего следует отметить резкое различие в требованиях, которые предъявляются к информации (ее составу, оперативности получения и передачи, точности измерений, глобальности и т. д.) со стороны различных потребителей — отраслей народного хозяйства, государственных или международных учреждений.

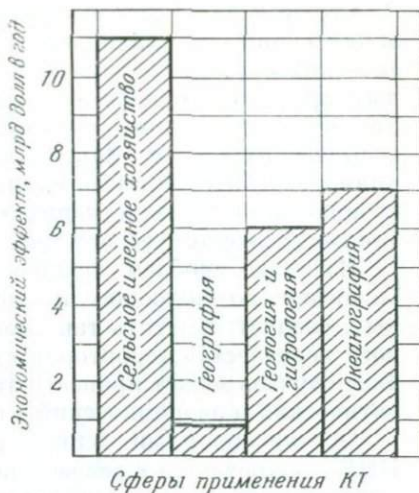


Рис. 1. Прогноз экономического эффекта коммерческого исследования космической техники

Стремление со стороны потребителей локализовать свои требования к информации в рамках отдельных районов, отраслей, физических явлений, измеряемых величин и т. д. является объективным процессом, однако это стремление резко расширяет требования к аппаратному составу, построению и режимам работы космических систем. Максимальное удовлетворение всем требованиям потребителей информации ИПРЗ из космоса может вызвать неоправданно высокие капитальные и текущие затраты и резкое снижение экономического эффекта.

Из числа проблем юридического, правового и политического характера, возникающих при использовании указанных выше данных, следует отметить так называемую проблему «информационного перехлеста» территории суверенных государств, который в ряде случаев может принести этим государствам определенный политический и экономический ущерб.

Организационный аспект проблемы использования КТ для ИПРЗ заключается в разработке и создании необходимой сети технических средств и служб отраслевого, регионального, национального и международного характера, позволяющей получать, дешифровать, передавать и использовать полученную информацию. При этом должны быть организационно установлены вопросы рационального сочетания космических и некосмических (традиционных) средств решения адекватных хозяйственных задач.

Общим требованием, предъявляемым со стороны всех потребителей космической информации, является требование экономичности. Соизмерение затрат и получаемого эффекта позволит решить одну из важнейших проблем развития данного вида космической техники — проблему экономической эффективности, которую следует трактовать в двух аспектах: абсолютная экономическая эффективность космических систем при решении уникальных задач, не решаемых традиционными средствами, и сравнительная экономическая эффективность решения адекватных задач.

Сопоставление этих двух категорий позволяет синтезировать величину суммарной экономической эффективности по схеме (рис. 2), предполагающей решение следующих вопросов:

установление перспективных сфер применения космической информации и номенклатуры решаемых задач;

построение дерева задач, исходя из технических возможностей КТ и традиционных средств, и ранжирование задач по степени их важности;

прогнозирование затрат на реализацию указанных задач с использованием космической техники и традиционных отраслевых средств;

оценка отраслевого эффекта от использования информации о природных ресурсах;

оценка абсолютной и сравнительной экономической эффективности.

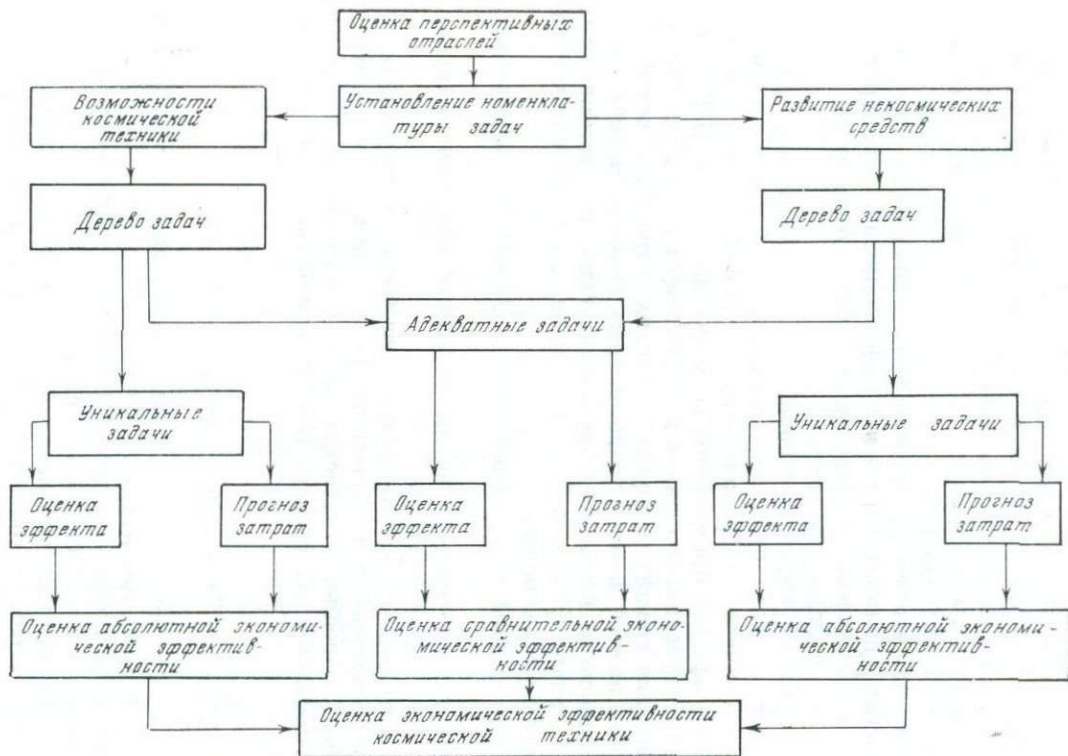


Рис. 2. Принципиальная схема оценки экономической эффективности космических систем дистанционной индикации природных ресурсов Земли

К числу наиболее перспективных отраслей народного хозяйства, эффективно использующих информацию о природных ресурсах Земли, относятся прежде всего геология, лесное хозяйство, сельское хозяйство, гидрология, водное хозяйство, океанология, рыбное хозяйство. В настоящее время можно назвать чрезвычайно широкий круг задач в указанных отраслях, решение которых возможно, а в ряде случаев единственно возможно с использованием информации ИПРЗ. Характер информации определяется эффективностью ее использования потребителями (в отраслях). Экономические расчеты показывают, что с точки зрения а) стоимости получения информации из космоса и ее использования и б) эффекта, получаемого у потребителей, могут быть определены экономически оптимальные состав информационной аппаратуры, количество космических аппаратов, наземных пунктов обработки и режимы их функционирования.

Экономический эффект от использования информации о природных ресурсах Земли и околоземной окружающей среде в отраслях народного хозяйства отображен на схеме (рис. 3). Суммарный экономический эффект применения космических систем ИПРЗ, получаемый в отраслях, дополняется эффектом от использования высвободившихся средств в других отраслях народного хозяйства. Для случая полной замены традиционных средств (вариант А) и для комплексного использования космических и традиционных средств (вариант Б) суммарный экономический эффект складывается из трех составляющих:

за счет замены или сокращения количества традиционных средств;

за счет повышения производительности общественного труда в отраслях народного хозяйства;

дополнительно от использования высвободившихся средств.

Единовременный экономический эффект для каждой  $j$ -й отрасли (сферы) народного хозяйства за счет полной или частичной замены традиционных средств ИПРЗ космическими можно определить как

$$\Delta_j = \sum_i^{n_j} \tilde{C}_{тр.с_i} - \gamma_j \tilde{C}_{кт} - \beta_j \tilde{C}_{наз} - \dot{C}_{отр.j}; \quad (1)$$

здесь  $\tilde{C}_{тр.с_i}$  — стоимость высвободившихся традиционных средств, получения информации  $i$ -го вида ( $i=1, 2, \dots, n$ );

$\tilde{C}_{кт}$  — суммарная стоимость космических средств (с учетом затрат на разработку, изготовление и запуск);

$\tilde{C}_{наз}$  — суммарная стоимость межотраслевой наземной системы сбора, обработки и распространения информации;

$\dot{C}_{отр.j}$  — стоимость внутриотраслевой системы вторичной обработки информации;

$\gamma_j$  и  $\beta_j$  — удельный вес  $j$ -й отрасли народного хозяйства в межотраслевых затратах на создание и эксплуатацию системы ИПРЗ ( $\tilde{C}_{кт}$ ;  $\tilde{C}_{наз}$ ).

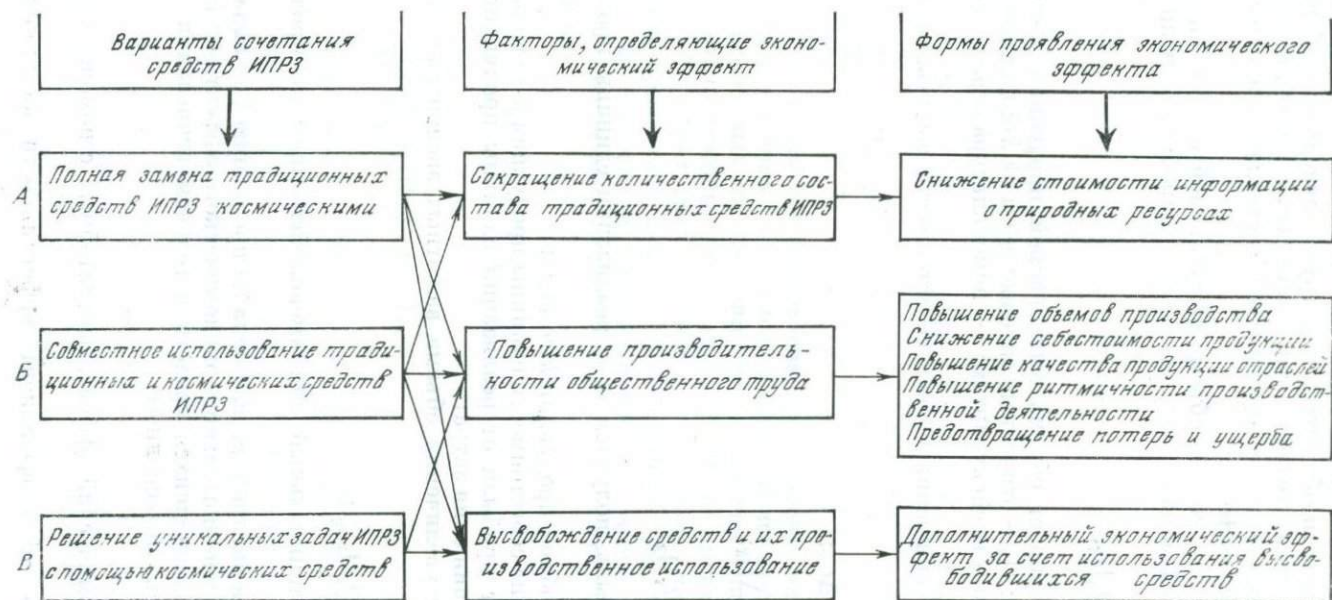


Рис. 3. Схема проявления экономического эффекта от использования дистанционной информации о природных ресурсах Земли

Расчетная схема экономического эффекта за счет повышения производительности общественного труда зависит от выбора соответствующих показателей. Можно наметить следующие основные схемы для подсчета рассматриваемой составляющей суммарного экономического эффекта:

1) за счет повышения объема выпускаемой продукции в оптовых ценах реализации дополнительного прироста продукции

$$\Theta_j = \sum_k^{lj} \Delta Q_k \Pi_k, \quad (2)$$

здесь  $\Delta Q_k$  — прирост объема выпускаемой продукции  $k$ -го вида ( $k=1, 2, \dots, l$ );  $\Pi_k$  — отпускные оптовые цены на  $k$ -й вид продукции по действующим прейскурантам;  $l$  — номенклатура отраслевой продукции;

2) за счет снижения уровня себестоимости выпускаемой продукции

$$\Theta_j = \sum_k^{lj} Q_k \Delta C_k; \quad (3)$$

$$\Theta_j = \sum_k^{lj} Q_k \Delta \Pi_k; \quad (4)$$

$$\Theta_j = \sum_k^{lj} \Delta Q_k \Pi_k, \quad (5)$$

где  $\Pi_k$  — прибыль, получаемая от реализации единицы продукции  $k$ -го вида;

$Q_k$  — годовой объем продукции  $k$ -го вида;

$\Delta C_k$  — снижение себестоимости единицы продукции  $k$ -го вида;

$\Delta \Pi_k$  — прирост прибыли от реализации единицы продукции  $k$ -го вида за счет снижения затрат;

3) за счет увеличения объема валютных экспортных поступлений

$$\Theta_j = \sum_k^{lj} \eta_k Q_k \Pi_{\text{вн}k}; \quad (6)$$

здесь  $\eta_k$  — потенциальный или имеющийся спрос на продукцию  $k$ -го вида;

$\Pi_{\text{вн}k}$  — средняя внешнеторговая цена на продукцию  $k$ -го вида.

Величина дополнительного экономического эффекта от использования высвободившихся средств в годовом исчислении может быть определена выражением

$$\Delta \Theta_j = \Theta_j \cdot E_n, \quad (7)$$

где  $\Theta_j$  — экономический эффект, рассчитанный с помощью формул (1) ÷ (6);

$E_n$  — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений.

Таким образом, суммарный экономический эффект, который может быть получен в  $m$  отраслях народного хозяйства ( $j=1, 2, \dots, m$ ) в случае частичной (вариант Б) или полной (вариант А) замены традиционных средств ИПР космическими, определяется как сумма соответствующих эффектов, рассчитываемых по формулам (1) ÷ (7), например:

$$\begin{aligned} \Delta_{A,Б}^{\Sigma} = & \sum_{j=1}^m \left[ \sum_i^{n_j} \left( \bar{C}_{\text{трс}_i} \gamma_j \bar{C}_{\text{кт}} - \beta_j \bar{C}_{\text{наз}} - \bar{C}_{\text{отр.}_j} \right) + \right. \\ & \left. + \sum_k^{l_j} Q_k \Delta \Pi_k \right] (1 + E_H)^{\Delta \tau}; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \Delta_{A,Б}^{\Sigma} = & \sum_{j=1}^m \left[ \sum_i^{n_j} \left( \bar{C}_{\text{трс}_i} - \gamma_j \bar{C}_{\text{кт}} - \beta_j \bar{C}_{\text{наз}} - \bar{C}_{\text{отр.}_j} \right) + \right. \\ & \left. + \sum_k^{l_j} \Delta Q_k \Pi_k \right] (1 + E_H)^{\Delta \tau}, \end{aligned} \quad (9)$$

где  $\Delta \tau$  — количество лет использования высвободившихся средств.

В случае решения уникальных задач при использовании методов дистанционных наблюдений эффект за счет сокращения или полной замены традиционных средств ИПРЗ не имеет смысла. Экономический эффект складывается из эффектов, получаемых за счет роста производительности общественного труда и производительного использования высвободившихся средств. Суммарный экономический эффект для этого случая (вариант В) может быть записан как

$$\Delta_B^{\Sigma} = \sum_{j=1}^m \left( \sum_{k=1}^{l_j} Q_k \Delta \Pi_k \right)_j (1 + E_H)^{\Delta \tau}; \quad (10)$$

$$\Delta_B^{\Sigma} = \sum_{j=1}^m \left( \sum_{k=1}^{l_j} \Delta Q_k \Pi_k \right)_j (1 + E_H)^{\Delta \tau}. \quad (11)$$

Аналогично можно представить рассматриваемый эффект для всех показателей повышения производительности общественного труда отраслей народного хозяйства. Другие показатели экономической эффективности, как, например, показатели качества, численность работающих, сумма валютных поступлений, улучшение условий труда, улучшение ритмичности работы и т. д., являются частными.

Важным этапом в комплексе исследований по оценке экономической эффективности космических систем ИПРЗ является прогнозирование затрат на реализацию задач исследования природной среды с помощью КТ и традиционных отраслевых средств.

При прогнозировании стоимости получения информации о природных ресурсах традиционными средствами следует учитывать

специфические особенности конкретных отраслей народного хозяйства:

принципы оценки и планирования затрат и объемов производства;

принципы финансирования отраслевой производственной деятельности;

количественный и качественный составы традиционных средств ИПРЗ, их развитие и т. д.

Главная задача при проведении прогнозной оценки стоимости получения информации о природных ресурсах с помощью космических систем заключается в разработке комплексных экономико-математических моделей критериев, чувствительных к изменениям структуры подсистем и изменениям их состояния (т. е. изменениям технических и организационно-экономических параметров).

Выбор критериев оценки, как правило, обусловлен широтой постановки задачи исследования, природой изучаемых процессов, степенью детализации расчетов, потребной точностью и достоверностью оценки, возможностью использования обширного (или ограниченного) статистического массива, возможностью физического или логико-математического моделирования и др.

Экономические критерии должны отражать:

1. Уровень затрат на различных стадиях «жизненного цикла» космических систем исследования природных ресурсов (их отдельных подсистем и элементов); к числу таких критериев относятся, например, затраты на разработку, производство и эксплуатацию космических систем и т. д.

2. Соизмерение затрат и технических показателей космических систем ИПРЗ (целевой отдачи или производительности, надежности и т. д.).

3. Экономию общественно необходимого труда на создание или эксплуатацию.

4. Рост производительности общественного труда.

5. Временные показатели и др.

При этом критерий должен быть привязан к некоторой калькуляционной единице, отражающей функционирование всех элементов системы на всех стадиях «жизненного цикла». Такой калькуляционной единицей является стоимость выполнения (временной, целевой) операции, как единицы результата функционирования всей системы. В рамках данных исследований роль комплексного критерия может играть «стоимость операции получения информации о природных ресурсах с помощью космических систем в течение года», которая определяется по схеме полных затрат следующим образом:

$$\bar{C}_{\text{оп}} = \left[ \sum_i^n \sum_j^m \sum_k^l C_{ijk}(\tau) (1 + E_{\text{инп}})^{\Delta\tau_{ij}} \right] (1 + E_{\text{н}} K_{ij}) (1 \pm \delta), \quad (12)$$

где  $i$  — индекс подсистемы космического комплекса ИПРЗ ( $i = 1, 2, \dots, n$ );

$j$  — индекс стадии «жизненного цикла» ( $j = 1, 2, \dots, m$ );  
 $k$  — индекс видов затрат ( $k = 1, 2, \dots, l$ );  
 $C_{ijk}(\tau)$  — величина  $k$ -го вида затрат на  $j$ -й стадии «жизненного цикла» для  $i$ -й подсистемы, приведенная в расчете на одну операцию;  
 $K_{np} = (1 + E_{np})^{\Delta \tau_{ij}}$  — коэффициент приведения одновременных затрат к единому моменту времени;  
 $E_{np}$  — нормативный коэффициент приведения ( $E_{np} = 0,08$ );  
 $K_{ij}$  — капитальные затраты в  $i$ -ю подсистему на  $j$ -ом этапе «жизненного цикла»;  
 $E_n$  — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;  
 $\delta$  — параметр доверительной области прогнозной оценки затрат.

Общая структура стоимости получения информации о природных ресурсах с помощью космической техники (структура затрат на создание и использование космических систем исследования природных ресурсов) представлена на рис. 4.

В общем виде величину затрат  $C_{ijk}$  в функции технических организационно-экономических параметров и времени можно представить как

$$C_{ijk}(\tau) = f\{X_{ij}, Y_j, \tau_{ij}\}, \quad (13)$$

где  $X_{ij}$  и  $Y_j$  — вектора соответственно технических и организационно-экономических параметров, существенных для  $i$ -й подсистемы на  $j$ -й стадии «жизненного цикла».

Техническими параметрами при прогнозировании стоимости создания и использования космических систем исследования природных ресурсов могут быть: количество ИСЗ в составе космического комплекса исследования природных ресурсов; весовые характеристики ИСЗ, служебной и научной аппаратуры, ракеты-носителя; разрешающая способность аппаратуры для исследования природных ресурсов; объемы обрабатываемой информации; характеристики аппаратурного комплекса дешифровки информации и др.

Анализ моделей  $C_{ijk}(\tau)$  показывает, что наибольшее распространение и наибольшую точность оценки дают модели вида:

$$C_{ijk} = \left[ a_0 + a_1 \prod_{r=1}^Q X_r^{\lambda_r} Y_s^{\lambda_s} \right] (1 \pm \delta), \quad (14)$$

или

$$C_{ijk} = \left[ a_0 + \sum_{r=1}^Q a_r X_r + \sum_{s=1}^J a_s Y_s \right] (1 + \delta), \quad (15)$$

где  $a_0$ ;  $a_1$ ;  $\lambda_r$ ;  $\lambda_s$ ;  $a_r$ ;  $a_s$  — эмпирические константы, полученные на этапе анализа ретроспективной информации;

$r$  — индекс учитываемых в моделях технических параметров систем ( $r = 1, 2, \dots, Q$ );

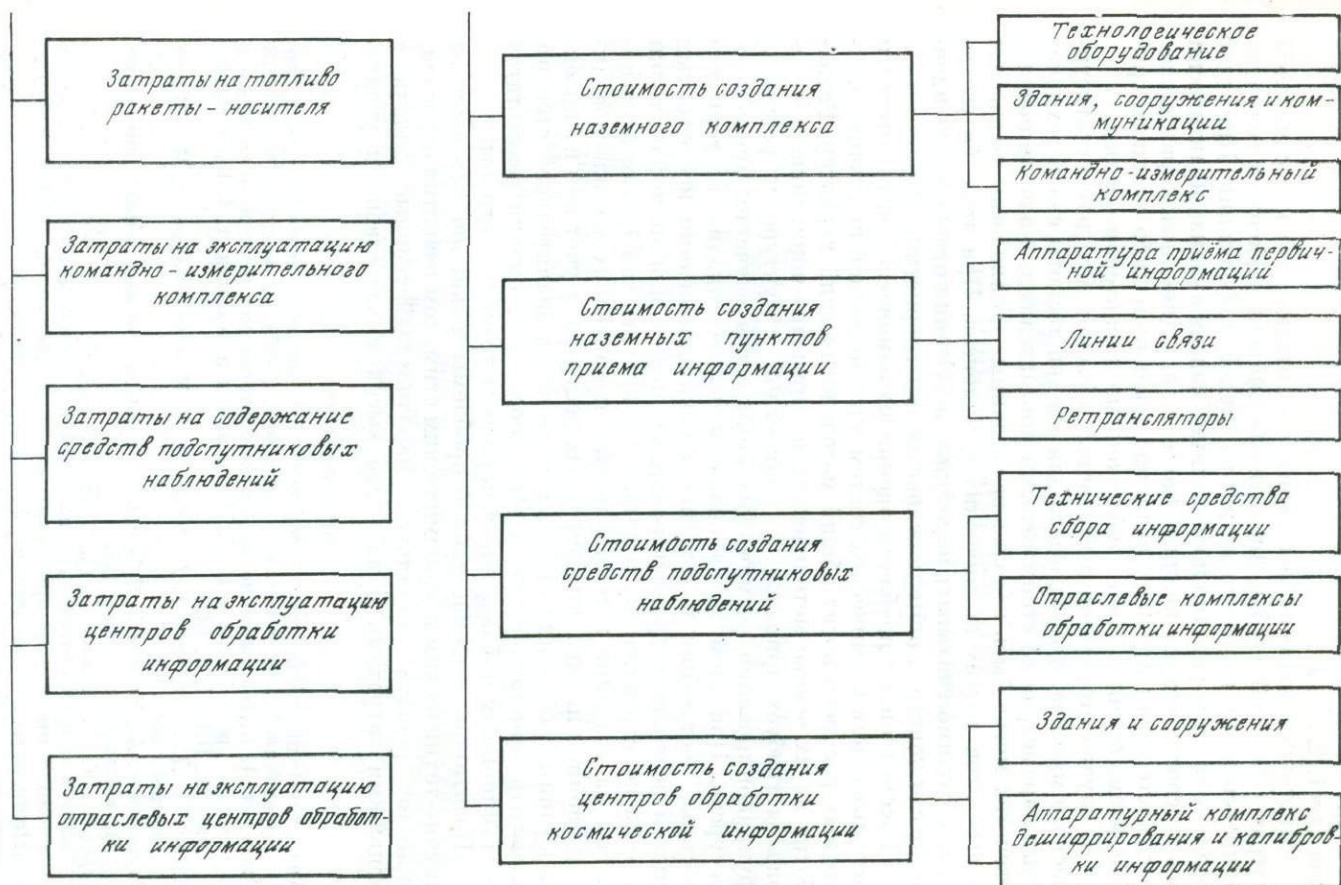
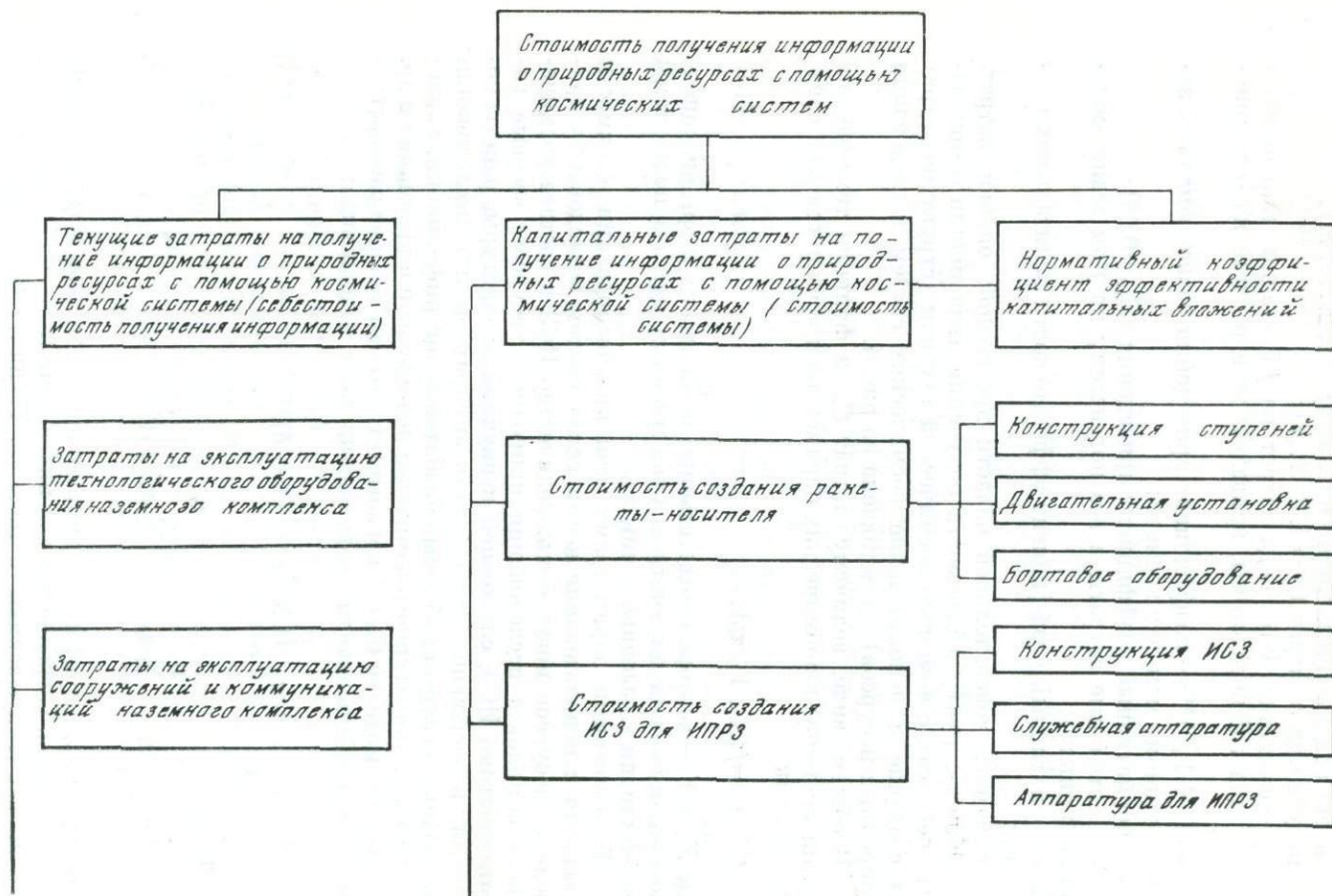


Рис. 4. Структура затрат на создание и использование космических систем исследования природных ресурсов

$s$  — индекс учитываемых организационно-экономических параметров ( $s=1, 2, \dots, J$ ).

Многочисленные исследования показывают, что класс моделей затрат (по своей форме) значительно шире и зависит от точности аппроксимации и объема ретроспективной информации. При этом более точно и корректно поставленной задаче анализа практически всегда соответствуют нелинейные модели, а линейный характер зависимостей, как правило, является признаком либо слишком грубой формализации, либо приближенным характером оценки.

В случае отсутствия достаточных объемов исходного статистического массива, необходимого для оценки тесноты связи технических параметров со стоимостными показателями, в экономических расчетах могут быть использованы данные по аналогам подсистем и агрегатов других космических комплексов. При этом, безусловно, необходимо учитывать некоторые допущения относительно идентичности конструкций или основных характеристик.

Рассмотренные проблемы оценки экономической эффективности использования космических систем дистанционной индикации природных ресурсов носят общий методологический характер. Разработка на их основе методических и справочно-нормативных материалов требует привязки к конкретной структуре и режимам функционирования космических комплексов изучения природных ресурсов. При этом технико-экономический анализ альтернатив состава, построения и режимов функционирования исследуемых систем позволит устранить неоправданные с экономической точки зрения конструктивные решения и сократить тем самым ассигнования на создание и эксплуатацию космических комплексов дистанционной индикации природных ресурсов, а учет при их проектировании требований отраслей позволит в значительной степени повысить экономическую эффективность применения результатов дистанционных наблюдений в народном хозяйстве страны.

Позитивное решение данной проблемы может явиться важным научно-техническим и экономическим стимулом развития отраслей, позволит решать актуальные народнохозяйственные задачи с меньшими затратами и на более высоком качественном уровне.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Аналитический обзор документов ООН по вопросам дистанционного зондирования Земли с помощью спутников. 1973, 12 июля, А/АС 105/118.
- Ганкевич А. В. Космические методы и средства для исследования природных ресурсов Земли. — В сб. Итоги науки и техники, т. 4. Ракетостроение. М., ВИНТИ, 1974.
- Коваль А. Д., Успенский Г. Р., Яснев В. П. Космос — человеку. М., «Машиностроение», 1971.
- Саркисян С. А., Минаев Э. С. Экономическая оценка летательных аппаратов. М., «Машиностроение», 1972.
- Саркисян С. А., Минаев Э. С., Корунов С. С., Гурдиновский О. Ю. Экономическая эффективность использования космических систем дистанционной индикации природных ресурсов. Доклад на XXV Конгрессе Межд. астронавт. федерации, № А74—165. Амстердам, 1974.
- Sensors pose earth satellite challenge. — Av. Week and Space Techn., 1970, v. 92, No. 25.

## КОСМИЧЕСКАЯ СЪЕМКА И ЗАДАЧИ ГЕОЛОГИИ

\*

*А. В. Пейве, В. Г. Трифонов*

### ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

В настоящее время становится все более очевидным, что решение важнейших проблем геологии возможно лишь при исследовании и сопоставлении геологических объектов и явлений в масштабе всей планеты и учете особенностей Земли как космического тела. Такой планетологический аспект геологических исследований получил на вооружение, помимо традиционных средств и методов, принципиально новую информацию о строении Земли и ее поверхности — информацию с искусственных спутников и пилотируемых орбитальных станций. Особенно результативной оказалась геологическая обработка и интерпретация изображений Земли в видимой и ИК-частях спектра, получаемых фотографическим путем и с помощью телевизионных и сканирующих устройств.

Среди структурно-геологических объектов на космических снимках наиболее четко выражены новейшие, т. е. неоген-четвертичные тектонические образования и созданные ими формы рельефа. Поэтому одной из важнейших задач, решаемой с помощью космических средств, является воссоздание крупных неотектонических форм и зон нарушений, их пространственных соотношений и в конечном счете — целостного рисунка новейшей структуры континентов. Это позволит ответить на такой важный вопрос геотектоники, как, существует ли планетарная упорядоченность в расположении элементов новейшей структуры, а если она существует, то каковы источники и механизмы структурообразующих процессов и в какой мере справедливы те или иные гипотезы тектогенеза.

Сейчас такие сопоставления выполнены лишь для отдельных регионов Средней Азии, Кавказа, Восточной Африки, западной части Северной Америки, и в этих регионах можно уверенно говорить о пространственной взаимообусловленности структурных

форм. Справедливо ли это для планеты в целом — покажут дальнейшие исследования.

Хорошая сохранность новейших структурных форм, отложений и форм рельефа, минимум наложенных явлений и практически повсеместная распространенность делают их наиболее приемлемым объектом и для решения задач детальной планетарной корреляции тектонических событий. Если последние окажутся синхронными в разных частях земного шара, это будет важнейшим аргументом в пользу общепланетарного единства тектонических процессов, а тектоническая сущность одновременно происходивших событий сузит круг гипотез о природе тектонических процессов.

Роль космической информации при корреляции неотектонических событий представляется более скромной, однако и здесь тщательное дешифрирование космических снимков может дать много. Во-первых, картирование отдельных структурных форм и зон нарушений, регистрация возраста нарушаемых ими отложений, в том числе и новейших, сама по себе является элементом тектонической корреляции. Во-вторых, исследования в Средней Азии показали, что формы рельефа разного возраста обладают характерными особенностями и дешифрируемыми признаками, позволяющими картировать их на большие расстояния. Это дает возможность коррелировать новейшие структурные образования удаленных регионов.

Широкое применение космических снимков для целей неотектоники не исключает, конечно, их использования при анализе более древних тектонических образований. В складчатых областях Центрального Казахстана, Тувы, Невады и Ирана космические снимки помогли выявить системы разнонаправленных разломов, кольцевые структуры, сложные взаимоотношения тектонических зон.

Новые возможности геологического использования космических снимков, принципиально отличающие их от аэроснимков, связаны с особенностями генерализации изображений при уменьшении масштабов съемки. Дешифрирование космических снимков и сопоставление результатов дешифрирования с геологическими, геоморфологическими и геофизическими данными, предпринятые на Тянь-Шане, в Афгано-Гаджикской депрессии, на Кавказе, Туранской плите, в отдельных районах Аляски и Провинции Бассейнов и Хребтов в США, показывают, что на космических снимках среднего и низкого разрешения дешифрируются элементы структуры не только крупные, но и характерные для глубинных горизонтов коры и ее основания. Геологические проявления таких зон глубинных деформаций нередко затушеваны многочисленными приповерхностными дислокациями и поэтому не были опознаны при наземных наблюдениях и дешифрировании аэрофотоснимков. Лучше выражены глубинные нарушения в новейшей структуре, но и здесь фрагментарность проявления порой мешает создать целостную картину. Дешифрируемые на упомянутых космических сним-

ках *линементы* более всего отвечают утвердившемуся в геологии понятию *глубинных разломов*, выраженных в распределении геофизических аномалий, изменении фаций и мощностей отложений или общего стиля деформаций, иногда магматизме. Чем мельче масштаб съемки, тем более *глубинные структурные элементы* проявляются на космических изображениях.

На космических снимках платформенных областей восстанавливается *скрытая осадочным чехлом структура поверхности фундамента*. В складчатых областях подтверждается *глубинная природа некоторых крупных разломов*, отчетливо выраженных на поверхности. Вместе с тем, в ряде орогенических складчатых областей восстанавливаемая с помощью космических снимков *глубинная структура земной коры* существенно отличается от *поверхностной геологической структуры* вплоть до различия структурных планов. Это позволяет ставить вопрос о *структурной дисгармонии* между различными горизонтами коры и о разных формах деформаций горных масс на разных глубинах. Появляется возможность отличить *крупные зоны деформаций*, сквозные, т. е. охватывающие различные горизонты коры, и *локальные, характерные только для отдельных горизонтов*. В целом указанное направление исследований, представляющееся весьма перспективным, является частью *важнейшей проблемы геологии* — проблемы структурных и генетических соотношений различных горизонтов литосферы.

В связи с этим интересно, что космические снимки позволяют по-новому оценить и соотношения литосферы с наиболее подвижной оболочкой Земли — атмосферой. На космических снимках Тянь-Шаня, Туранской плиты, Монголии, северо-востока Русской платформы наблюдалось совпадение элементов облачного покрова с крупными зонами нарушений земной коры, причем соотношения этих образований с рельефом показывают, что не он определяет такую локализацию облаков.

Применение космических снимков при решении практических задач геологии многогранно. Прежде всего, выявлены широкие возможности использования снимков для ревизии геологических и структурных карт среднего и мелкого масштабов. В геологически разнообразных районах (Кавказ, Загросс, Таджикская депрессия, Центральный и Восточный Казахстан, Туранская плита, Калифорния, западное обрамление Индийской платформы и др.) хорошо дешифрируются разломы, складки, кольцевые структуры, интрузии, терригенные, карбонатные и вулканогенные комплексы пород. Для указанных целей наиболее приемлемы снимки с разрешением от десятков до сотен метров.

Возможности дешифрирования элементов глубинного строения земной коры открывают путь к более рациональному планированию с помощью космических снимков дорогостоящих геофизических работ. Наиболее подходят для этих целей снимки с разрешением от сотни до тысячи метров. Выявление и уточнение глубинных разломов может быть использовано при прогнозах ряда металличе-

ских полезных ископаемых, а в сейсмоопасных областях позволяет уточнить сейсмическое районирование территории. Большие перспективы имеет и прямое обнаружение с помощью космических снимков локальных платформенных и предгорных структурных форм, перспективных для поисков подземных вод и др. Наконец, космические снимки могут быть с успехом использованы для инженерно-геологических целей: при выборе трасс коммуникаций, мест строительства водохранилищ, плотин и т. п.

Дальнейшее развитие геологических исследований с помощью космических средств требует совершенствования как средств получения космической информации, так и методов ее геологической интерпретации. Первоочередной задачей представляется создание спутниковой системы, способной получать многозональные космические изображения любых частей земного шара с разрешениями от десятков до тысячи метров. Тесно связана с этим проблема оперативности первичной обработки (воспроизведение в заданном масштабе, трансформация, координатная привязка) и доставки обработанных изображений потребителю.

Развитие методов геологической интерпретации космических изображений предусматривает в первую очередь всестороннее освоение многозональных снимков, исследование принципов генерализации изображения геологических объектов при уменьшении масштабов съемки. Необходимо продолжать и углублять работы по выявлению фотометрических, спектрофотометрических и геометрических дешифрировочных признаков геологических объектов, т. е. переводение геологического дешифрирования снимков на точную количественную основу. Это послужит базой для дальнейшей автоматизации процессов дешифрирования, что становится все более актуальным при массовом потоке космической информации и важности решаемых с ее помощью геологических задач. Поскольку для автоматической обработки более удобна информация, получаемая с помощью телевизионных и сканирующих устройств, им должно быть в будущем отдано предпочтение перед фотографической съемочной аппаратурой.

Необходимо развивать тектонические средства тепловой ИК-съемки с целью получения космических изображений с разрешением, достаточным для обнаружения локальных термоаномалий и воссоздания глобальной карты распределения теплового потока. Наконец, огромное будущее в геологии имеет разработка и внедрение в практику космических экспериментов радарной и лазерной съемок, позволяющих преодолеть экранирующую роль облаков и снежного покрова и при известных условиях восстанавливать структуру подошвы рыхлого осадочного чехла.

Таковы основные направления и перспективы геологических исследований с помощью космических средств.

*В. Н. Брюханов, В. К. Еремин, В. И. Макаров,  
Г. В. Махин, Б. Н. Можжев, В. Г. Трифионов,  
П. В. Флоренский*

## ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ГЕОЛОГИИ

Со времени запуска первых искусственных спутников Земли в науке и технике встал вопрос об использовании информации, полученной из космоса, в народном хозяйстве, в том числе при геологических исследованиях. Геологи стали широко использовать средства космической информации для решения большого круга теоретических и практических задач.

Любая наука испытывает скачок в своем развитии, когда появляются принципиально новые методы исследований, позволяющие изучать ранее неизвестные свойства объектов. В геологии такой скачок произошел, например, в середине XIX века, когда впервые был применен поляризационный микроскоп для изучения минерального состава горных пород. Аналогичный качественный скачок в развитии геологической науки происходит сейчас, когда появилась возможность увидеть Землю из космоса.

Само содержание геологических исследований требует дедуктивного подхода к изучению объекта — от общего к частному. Вместе с тем, на протяжении почти всего времени геология развивалась на основе индуктивного метода, т. е. от частного к общему; геологическая карта, моделирующая геологическую структуру территории, составлялась путем сведения отдельных наблюдений в единое целое. Благодаря этому существовал определенный разрыв между методом исследования и средством познания геологического строения. Этот разрыв частично восполнялся в последнее 30-летие применением аэрометодов, однако и здесь ограниченность площадного обзора не позволяла решить проблему в целом.

Съемки из космоса дали в руки геологов новое средство изучения геологических объектов. Можно с уверенностью говорить, что геологическая информация, берущаяся с космических снимков, в большинстве случаев уникальна и не может быть получена другими известными методами. В настоящее время начинается оформление нового научного направления изучения недр — космическая геология (Сидоренко, 1973).

Апробированы и успешно применяются при геологических исследованиях материалы съемок из космоса в фотографическом (видимом) диапазоне электромагнитного излучения, охватывающем интервал длин волн от 0,4 до 0,9 мк и тепловом — инфракрасном — в интервале 3—14 мк.

Снимки в видимом диапазоне по способу получения изображений разделяются на собственно фотографические, выполняемые прямым фотографированием на светочувствительную пленку, телевизионные и сканерные, производимые электронными телевизионными и оптико-механическими сканирующими системами. Первые выполняются выборочно с пилотируемых космических кораблей (ПКК), вторые — преимущественно с автоматических ИСЗ («Космос» и «Метеор», американские «Нимбус», ЕРТС-1). Тепловые съемки выполняются специальными сканирующими системами, датчики которых чувствительны к тепловому ИК-излучению.

Космические снимки Земли обладают рядом особенностей, делающих их уникальными для расшифровки не только многих важнейших черт геологического строения крупных территорий, но главное — для понимания общей геологической структуры.

Эти особенности следующие:

*Мелкомасштабность.* Масштабы космофотоснимков (КФС), полученных к настоящему времени, колеблются от 1:1 000 000 до 1:10 000 000 и мельче. Мелкомасштабность является основным фактором, определяющим обзорность и генерализацию изображения, что способствует изучению крупных геологических объектов.

*Повышенная обзорность.* Это свойство КФС обеспечивает выполнение одного из условий оптимального наблюдения геологических объектов — получение их изображения на одном снимке. С увеличением обзорности становится возможным увидеть крупные геологические структуры в целостном изображении, проанализировать их положение в окружающей обстановке, характер ограничений и сочленений с прилегающими структурами, выделить главные черты внутренней тектоники. Применение для этих целей уменьшенных фотосхем, смонтированных из аэрофотоснимков, малоэффективно из-за большого количества порезов, разновременности съемки различных участков, потери информации в процессе репродукции и главное — невозможности получения стереомодели.

По степени обзорности КФС могут быть разделены на три категории: глобальные, охватывающие видимую часть диска Земли, региональные — с охватом площади более  $10^6$  км<sup>2</sup> и локальные — с изображением площади менее  $10^6$  км<sup>2</sup>. Снимки разных категорий обзорности служат для решения различных геологических задач.

*Естественная генерализация.* Генерализация изображения объектов земной поверхности заключается в интеграции на КФС отдельных, часто слабо выраженных, геологических деталей и элементов естественного и культурного ландшафта, составляющих обычно основное содержание аэрофотоснимка. В результате этого при дешифрировании появляется возможность отличить и выделить главное от второстепенного, что необходимо при установле-

нии общих закономерностей геологического строения крупных территорий.

*Увеличение глубинности интерпретации.* Эта особенность КФС вытекает из трех предыдущих, так как фрагменты глубинных структур, в силу обычного явления унаследованности геологических процессов, выраженные на поверхности, сливаются в единые системы и могут быть геологически интерпретированы. В первую очередь это относится к региональным и глубинным разломам в районах, покрытых с поверхности чехлом новейших рыхлых образований.

Помимо перечисленных особенностей, для космической фотографии имеется возможность периодического получения изображения одной и той же территории. В сезонном аспекте это важно с точки зрения выбора материала с наилучшим изображением геологических объектов или индицирующих их ландшафтных признаков. Повторяемость съемки через более длительные интервалы позволяет изучать динамику ряда экзогенных геологических процессов — абразионных, аккумулятивных, эрозионных и др.

При хорошем фотографическом качестве изображения КФС могут быть увеличены в несколько раз, благодаря чему при дешифрировании удастся выявлять геологические объекты различной степени генерализации.

Изучение крупных геологических элементов земной коры необходимо в первую очередь для правильного понимания закономерностей размещения полезных ископаемых, условий формирования месторождений, что в конечном счете определяет стратегию поисковых работ.

Исследование природных объектов и явлений, в том числе геологических, с помощью космических средств осуществляется во многих странах, однако главными разработчиками как аппаратурных, так и прикладных аспектов проблемы являются СССР и США. Специалистами этих стран представлены убедительные примеры использования космических снимков при исследовании отдельных структурно-тектонических зон и соотношений разных зон друг с другом, систем и зон разломов; при изучении современных геологических процессов. Широкое применение находят материалы съемок Земли из космоса при мелкомасштабном геологическом картировании и обновлении ранее составленных геологических карт. Важным открытием советских ученых было доказательство возможности дешифрирования на КФС элементов глубинного строения земной коры как складчатых, так и платформенных областей. Сейчас это направление исследований завоевывает все большее признание.

Ряд интересных разработок в СССР и в США касается применения методов фотографической и оптической фильтрации изображений с использованием дифракционных решеток и лазерных устройств. Эти методы дают возможность оперативной и корректной обработки, в первую очередь линейных элементов с вы-

явлением относительного веса тех или иных направлений линейных элементов, частоты их распределения, длины и т. п.

Автоматические методы обработки снимков в геологии пока не получили широкого распространения, хотя все возрастающий поток информации заставляет обращать на эти методы самое серьезное внимание. В Мичиганском институте по исследованию природной среды (США) имеется опыт автоматического картирования по аэро- и космическим снимкам сельскохозяйственных угодий, а также растительных и гидрогеологических объектов. Автоматической обработке на ЭВМ подвергались электромагнитные сигналы сканирующего устройства, причем использовались яркости разных спектральных интервалов, отношения яркостей и геометрические особенности природных объектов. Работы подобного рода по автоматизации геологического дешифрирования начаты в СССР в объединении «Аэрогеология» и Геологическом институте АН СССР. Вместе с тем, хотя автоматизация дешифрирования имеет большие перспективы в отношении ускорения работы и получения более объективных данных, визуализация в обработке материалов дистанционных съемок в качестве конечного этапа работы не потеряет своего значения.

Информация, получаемая из космоса, способствует решению геологических проблем как теоретического, так и практического плана. Большая обзорность и интеграция изображения геологических объектов земной поверхности позволит широко использовать КФС при изучении пространственных соотношений крупных элементов геологической структуры складчатых и платформенных областей.

Дешифрирование ТВ-снимков, полученных со спутников «Метеор», территории Южной Азии (Памир, Гималаи, Индостан), поднимает много вопросов, касающихся иного, чем представлялось ранее, тектонического устройства этой сложной обширной территории.

Первое, что следует отметить, это огромная роль глубинных разломов, имеющих основное структуроформирующее значение. Прекрасно видно на телефотоснимках резкое различие в фотоизображении структурных зон, имеющих разный возраст складчатости, и тождественность телефотоизображения в целом разновозрастных геологических структур. Последняя закономерность имеет огромное значение, так как является ключом интерпретации истории развития крупных геологических объектов (Башилова и др., 1972).

На основе ТВ-снимков имеется возможность по-новому интерпретировать строение Уральской складчатой системы и прилегающих территорий. Устанавливается, что Уральский мегаантиклинорий с обеих сторон ограничен сложными системами региональных разломов. В южной части выявляется серия крупных чешуй, образовавшихся, вероятно, при надвигании складчатых структур Урала на Русскую платформу. Для района Западной Сибири также уста-

навливается существенная роль разломов, формирующих структурный облик региона. По ТВ-снимкам удается расшифровать структуру фундамента Западно-Сибирской плиты, обнаруживающего блоковое строение. Данные дешифрирования хорошо увязываются с геофизическими (магнитными и гравитационными) полями (Башилова и др., 1973).

В результате структурного дешифрирования КФС, полученных с ПКК «Союз-3», «Союз-9» и орбитальной космической станции «Салют» по территориям Центрального Казахстана, Тянь-Шаня, Кунь-Луня и Тувы, по-иному откартированы известные и установлены новые крупные разломы, складчатые структуры и их пространственные соотношения, проведено тектоническое районирование. Наиболее интересной в теоретическом отношении представляется целостная картина разрывной тектоники и взаимоотношение линейных нарушений с кольцевыми структурами и интрузивными массивами. Подобные структурные элементы дешифрируются и на космических снимках закрытых территорий (Туранская плита).

Особенно хорошо дешифрируется на космических снимках новейшая (неоген-четвертичная) структура, поскольку она лучше всего отражена в современном рельефе и других элементах ландшафта. Если обнажающиеся на поверхности элементы более древней структуры являются реликтовыми или унаследованными, в той или иной степени переработанными последующими тектоническими процессами, то новейшие структурные формы лишены такой переработки и могут быть прослежены с помощью космических снимков на всей площади континентов. Это позволяет решить задачу восстановления глобального рисунка новейшей структуры, наличия или отсутствия планетарной упорядоченности в расположении структурных форм этого этапа развития Земли.

Попытки использования космических изображений при анализе новейшей структуры предпринимались для достаточно крупных регионов высокой тектонической активности. Они выявили или подтвердили новыми данными большую роль горизонтальных тектонических движений в формировании новейшей структуры. Так, для рифтовой системы Красного моря и Аденского залива эти движения выражены в виде растяжения с элементами сдвига (Abdel-Gaward, 1969, 1970); на западном обрамлении Индийской платформы — в виде гигантских сдвиговых перемещений (Abdel-Gaward, 1971); в Калифорнии — в виде сочетания сдвигов с надвигами (Hamilton, 1971); на Кавказе и Тянь-Шане — надвигами и сжатыми складками (Трифонов и др., 1973; Макаров и др., 1974); в более мелком масштабе сочетание сдвигов, надвигов и сжатых складок дешифрируется на снимках всего Ближнего и Среднего Востока (Скарятин, 1973).

Вопрос о том, существует ли планетарная взаимосвязь и взаимообусловленность структурных образований, решается поисками не только планетарной упорядоченности в расположении элементов структуры, но и синхронностью геологических событий в раз-

ных частях земного шара. И эта проблема лучше всего решается на примере новейшего этапа развития Земли, причем космические снимки могут помочь в такой работе по меньшей мере в двух направлениях исследования. Во-первых, на снимках можно проследить линейные зоны нарушений и определять их относительные возрастные соотношения и соотношения с теми или иными складчатыми структурами и комплексами пород. Во-вторых, формы рельефа разного возраста (выраженные специфическим рисунком на космических снимках) обладают индивидуальностью, зачастую сохраняющейся от одного региона к другому. Это дает возможность картировать однородные поверхности на космических снимках и использовать их в качестве своеобразных «стратиграфических» реперов, позволяющих увязывать друг с другом разновозрастные геологические события различных регионов.

Представляется, что проблемы «большой геотектоники» могут достаточно надежно решаться только с использованием КФС. Причем в этом случае могут рассматриваться как пространственное взаимоотношение глобальных геотектонических структур, так и история их развития и формирования.

Специфическим проявлением глубинной тектоники являются дешифрирующиеся на космических снимках кольцевые и концентрические формы, генетически представляющие различные образования (кальдеры обрушения, вулканические конусы, субкольцевые разломы, возможно — астроблемы и др.). Для изучения этих образований необходимы дальнейшие исследования. К таким образованиям относятся структура Ришат в Западной Сахаре (Береговой и др., 1972), кольцевые комплексы Северного Прибалхашья (Яковлев, Скублова, 1974), Тувы (Лукашев, 1974) и Центрального Казахстана (Доливо-Добровольский, 1974; Шульц, 1974).

Много дают космические снимки в области изучения современного и новейшего осадконакопления. Особенно важным представляется комплексный анализ областей сноса, миграции и аккумуляции осадочного материала, разделение «сфер влияния» различных источников сноса и выяснение соотношений поступающего из них материала. В этом плане космические снимки дают возможность проводить соответствующие площадные подсчеты и районирование. Интересными объектами такого дешифрирования представляются долины и дельты крупных рек, морские побережья и примыкающие к ним области акватории, где в приустьевых участках хорошо дешифрируются массы речных вод, насыщенных взвешенным тонкообломочным материалом, и пути их миграции под действием прибрежных течений. Обширное поле деятельности представляет собой изучение по космофотоснимкам песчаных пустынь и зон развития лессов.

В работах Verstappen, Zuidam (1970) по данным интерпретации космических снимков и полевым наблюдениям расшифровываются особенности осадконакопления и эволюции оз. Чад. Преобразования береговой линии и характер осадконакопления в заливе Кара-

Богаз-Гол отдешифрированы на снимках, сделанных с ПКК «Союз-9» (Гендлер и др., 1973). Обнаруженные с помощью космических снимков изменения морских береговых линий в результате современной абразии и аккумуляции обломочного материала показаны в работах Wobber (1967).

Возможность получения по КФС геологической информации позволяет широко их использовать для решения целого ряда практических задач. Это региональное геологическое картирование, составление прогнозных и металлогенических карт, геологическая интерпретация геофизических материалов, поисковые, гидрогеологические и инженерно-геологические работы, изучение областей повышенной сейсмичности и современного вулканизма и т. д.

Особенно большое значение приобретают КФС при региональных геологических исследованиях. Это относится как к геологической съемке, так и к доизучению (в том числе глубинному геологическому картированию) ранее заснятых площадей. При этом наибольший объем интересующей геолога информации может быть получен при дешифрировании локальных КФС. Установлена существенная информативность КФС в отношении выявления разломов, средних и крупных структурных форм, выделений и картирования генетических разностей новейших образований, типов и форм рельефа.

Пока не совсем ясно, какой объем информации может быть получен из космических снимков по стратиграфии, литологии, расчленению магматических образований. Некоторые примеры детального дешифрирования КФС (в Казахстане, Средней и Малой Азии, Америке, Африке) позволяют предположить, что на этих снимках будут дешифрироваться более крупные естественно-генетические ассоциации горных пород, а не привычные для нас стратиграфические и литологические подразделения. Скорее всего это будут формации или парагенетические комплексы.

Вместе с тем более широкое использование многоспектральной и ИК-съемок из космоса с учетом возможностей увеличения КФС позволит расширить объем информации о вещественном составе пород.

Специфика геологической информативности КФС позволяет ставить вопрос о создании принципиально новой продукции — космофотогеологических карт, которые дадут возможность ускорить и существенно удешевить последующие геологосъемочные работы.

При составлении космофотогеологических карт должны использоваться материалы региональных геофизических исследований и геологических работ, ранее выполненных на изучаемой территории.

Поскольку многие объекты, выделяемые при дешифрировании КФС, являются «скрытыми» и не зафиксированы на ранее составленных геологических картах, большое значение приобретают геофизические данные, в первую очередь аэромагнитная съемка и гравиметрические исследования. Совместное использование гео-

физических материалов и данных дешифрирования существенно повышает полноту и надежность космофотогеологического картирования. При этом в работе рекомендуется использовать первичные данные геофизических наблюдений.

Учитывая, что процесс научного поиска месторождений начинается с анализа геологической обстановки на больших территориях, значение в этой проблеме материалов КФС трудно переоценить. Особенно это важно сейчас, когда путь к открытию новых крупных месторождений — это путь к большим глубинам.

Космофотогеологические карты явятся наиболее подходящей геологической основой при составлении металлогенических и прогнозных карт. Опытно-методические работы, проведенные в ряде районов Средней Азии и на Алтае, показали, что на основе дешифрирования КФС удастся дать весьма объективную картину пространственного расположения рудоконтролирующих структур.

Дешифрирование полученных с «Салюта» КФС М 1 : 7 500 000 и 1 : 1 500 000 на территорию Казахстана и Алтая дало возможность составить принципиально новую и весьма объективную схему разрывных нарушений и провести классификацию разломов с точки зрения их предполагаемой связи с рудоносностью (Гендлер и др., 1973).

Использование КФС при поисковых работах на полезные ископаемые опирается на свойство КФС отображать элементы глубинного строения территории, определяющие расположение структурных ловушек. Фотоаномалии, отвечающие таким структурным формам, были выделены и описаны на Туранской плите (Артамонов, Исаев, 1971; Богородский и др., 1973; Флоренский, 1973; Трифионов и др., 1973; Макаров и др., 1974; Абросимов и др., 1973).

Особенно показательны результаты дешифрирования КФС, полученных с «Союза-12», на районы Мангышлака и Устюрта. Здесь в виде фотоаномалий выделяются практически все известные локальные структуры, содержащие месторождения. Кроме того, обнаруживается ряд фотоаномалий в пределах относительно слабо изученных участков, которые представляются объектами, интересными для поисковых исследований.

В более обобщенном виде территории, перспективные для поисков полезных ископаемых, выделены по телевизионным снимкам «Метеор» для Западной Сибири (Башилова и др., 1973; Астахов, Ероменко, 1974). Использование снимков с ЕРТС-1 для организации поисков на нефть в Западном Техасе описано Saunders и его коллегами (1974). Выделенная ими на КФС система погребенных разломов северо-восточного простирания ограничивает область продуктивного древнего шельфа от непродуктивной части платформы.

Несомненный интерес представляют КФС при изучении гидрогеологических и геотермальных ресурсов. В первом случае имеется возможность выявления и оконтуривания артезианских бассейнов, картирования по растительным ландшафтам участков развития вод первого водоносного горизонта с различной минерализацией,

определения областей питания и разгрузки пластовых вод. Решение вопросов развития геотермальных ресурсов тесно связано с изучением структурного плана территорий, в отношении которого КФС дают наиболее полную и достоверную информацию.

Хорошая сходимость выделяемых на КФС линейных элементов и глубинных сейсмодислокаций (Макаров и др., 1974) позволяет использовать космические изображения для уточнения карт сейсмического районирования сейсмоопасных областей.

Представляется, что проектированию крупных трасс и магистралей должно предшествовать тщательное инженерно-геологическое дешифрирование КФС. Это поможет определить оптимальное прохождение трассы с учетом условий строительства, учесть возможные влияния новейших тектонических движений и экзогенных породоразрушающих процессов, а также многие другие особенности территории.

Космические телевизионные и фотографические снимки не заменяют другие виды дистанционных съемок, например, аэрофото-съемки или аэрогеофизических исследований. Каждый из этих видов решает свои задачи; поэтому особенно важно правильно комплексовать методы исследований для достижения наибольшей эффективности работ. Внедрение аэрометодов, переход на новые виды региональных геологосъемочных работ снизили стоимость 1 км<sup>2</sup> геологической съемки М 1:200 000 почти в 2 раза (Еремин, 1973). Применение космических снимков может дать еще больший экономический эффект, не говоря уже об эффекте геологическом, оценить который в стоимостном отношении сейчас невозможно.

Дальнейшее развитие геологических исследований с помощью космических средств зависит, в первую очередь, от создания спутниковой системы, способной получать изображения земной поверхности в различных спектральных интервалах видимой и ближней ИК-частях спектра и с различным заданным разрешением на местности (от первых десятков до тысячи метров). При этом наиболее удобной для приема и обработки представляется съемка с помощью сканирующих устройств, хотя для решения отдельных задач, вероятно, сохранит свое значение фотографическая съемка. В будущем эта система должна быть дополнена аппаратурой для тепловой ИК-съемки с разрешением, по меньшей мере, в сотни метров, достаточным для глобального исследования внутреннего теплового излучения Земли и обнаружения локальных тепловых аномалий. Большие надежды связываются также с внедрением в практику космических работ радиолокационной и лазерной съемок, которые расширят диапазон и возможности применения дистанционных средств зондирования природной среды.

Ряд задач связан с первичной обработкой поступающей космической информации и поставкой материалов съемок потребителям. Эти процессы должны осуществляться весьма оперативно. В комплекс первичной обработки, помимо трансформации, воспроизведе-

ния, координатной привязки изображений и т. п., по-видимому, следует включить осуществляемое по заказу потребителя микрофотометрирование в заданном масштабе. Конечная продукция в таких случаях должна представляться в виде фотометрических карт или карт отношений яркостей объектов в заданных спектральных интервалах.

Наконец, первоочередными задачами собственно геологического использования космической информации представляются совершенствование методики комплексной обработки многозональных снимков с выбором наиболее информативных для разного рода тематического дешифрирования спектральных интервалов, а также исследование закономерностей генерализации изображения геологических объектов с уменьшением масштабов съемки.

Для автоматизации геологического дешифрирования космоснимков необходимо, в первую очередь, активизировать работы по исследованию фотометрических, спектрофотометрических и геометрических дешифрировочных признаков различных геологических объектов в разных ландшафтных условиях, изменений этих признаков с изменением высоты съемки. На первых порах представляется более рациональным ставить задачи частичной автоматизации процессов геологической обработки (например, составление серии фотометрических карт по результатам съемки) или автоматизации дешифрирования лишь некоторых геологических образований, отличающихся достаточно простыми индикационными признаками (линеamentы, кольцевые структуры, некоторые типы отложений, поля молодых лав, интрузии и т. п.). Весьма перспективным представляется совмещенное использование методов фотографической и оптической фильтрации с обработкой результатов на ЭВМ. Из-за трудностей считывания фотоизображений по сравнению с обработкой на ЭВМ электромагнитных сигналов способы съемки с помощью телевизионных и особенно сканирующих систем в будущем должны найти большее применение, чем фотографические методы получения изображений Земли из космоса.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Абросимов И. К., Богородский С. М., Востокова Е. А.* Ландшафтные взаимосвязи и их использование при дешифрировании материалов аэро- и космических съемок для изучения глубинного строения западной части Туранской плиты.— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 1. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1973.
- Артамонов М. А., Исаев Е. Н.* Геофизическая информативность космических снимков полуострова Мангышлак.— ДАН СССР, 1971, т. 199, № 1.
- Астазов В. И., Ероменко В. Я.* Геологическая информативность телевизионных космических снимков закрытых районов (на примере Приенисейской Сибири).— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 2. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1974.
- Башилова И. И., Еремин В. К., Махин Г. В.* Некоторые результаты применения телевизионных изображений Земли, переданных из ближнего космоса, для изучения региональных геологических структур.— Сов. геология, 1972, № 1.

- Башилова И. И., Еремин В. К., Мазин Г. В. Космические телевизионные снимки, как средство тектонического районирования крупных территорий и прогнозирования полезных ископаемых.— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 1. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1973.
- Береговой Г. Т., Бузников А. А., Васильев О. Б. и др. Исследования природной среды с пилотируемых орбитальных станций. Л., Гидрометеоздат, 1972.
- Богородский С. М., Гаврилов В. П., Кирюхин Л. Г. и др. Строение Туранской плиты по данным комплексной интерпретации геолого-геофизических и космогеологических исследований (в связи с перспективами нефтегазоносности).— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1973, № 1.
- Гейдлер В. Е., Канфельд О. М., Козицкая М. Т. и др. Некоторые результаты работ по геологическому дешифрированию фотоснимков, сделанных с космических кораблей.— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 1. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1973.
- Доливо-Добровольский А. В. К вопросу об изучении кольцевых структур по космическим снимкам.— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 1. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1974.
- Еремин В. К. Пути повышения экономической эффективности региональных геологосъемочных работ. Библиографический обзор. М., «Недра», 1973.
- Лукашев Г. Н. Дешифрирование кольцевых структур на космических фотоснимках юга Алтае-Саянской области.— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 2. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1974.
- Макаров В. И., Скобелев С. Ф., Трифонов В. Г. и др. Глубинная структура земной коры на космических изображениях.— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 2. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1974.
- Сидоренко А. В. Космос и геология.— В сб. Наука и человечество. М., «Знание», 1973.
- Скарятин В. Д. Об изучении разрывной тектоники по комплексу разномаштабных космоснимков Земли (метод многоступенчатой генерализации).— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1973, № 7.
- Трифонов В. Г., Быкова С. Л., Ведешин Л. А. и др. Вопросы методики геологического дешифрирования космических изображений Земли.— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 1. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1973.
- Флоренский П. В. Дешифрирование глубинной структуры и локальных поднятий по космическим снимкам Туранской плиты.— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1973, т. 7.
- Шульц С. С. (мл.). Концентрические сводовые структуры Приуралья и Кызылкумов на космических снимках, полученных с пилотируемой орбитальной станции «Салют».— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 2. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1974.
- Яковлев П. А., Скублова И. В. Дешифрирование космических снимков с целью выявления кольцевых вулканоплутонических структур и изучение закономерностей их размещения.— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 2. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1974.
- Abdel-Gawad M. New evidence of transcurrent movements in Red Sea area and petroleum implications.— Amer. Ass. Petr. Geol. Bull., 1969, v. 57.
- Abdel-Gawad M. Interpretation of satellite photographs of the Red Sea and Gulf of Aden.— Phil. Trans. Roy Soc., London, 1970, V. A267, No 1181.
- Abdel-Gawad M. Wrench Movements in the Baluchistan Arc and Relation to

Himalayan-Indian Ocean Tectonics.—Geol. Soc. of America Bull., 1971, V. 82, No 5.

Hamilton W. Recognition on Space Photographs of Structural Elements of Baja California. Geol. survey prof. paper, Washington, 1971.

Sounders D. F., Thomas G. E., Kinsman F. K. Many-promising survey from ERTS-1 as mean of petroleum exploration.—World Oil, 1974, V. 175, No 4.

Wobber F. I. Space photography — a new analytical Tool for the sedimentologist.—Sedimentology, 1967, V. 9, No 4.

Zuidam van K. A., Verstappen H. Th. Geomorphological recognize of the Central Sahara, using orbital photographs. ISP — Symposium, Dresden, 1970.



*В. К. Еремин, М. А. Артамонов, С. М. Богородский,  
В. Н. Брюханов, Е. А. Востокова, М. Т. Козыцкая,  
С. Ф. Скобелев, Л. И. Соловьева*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В развитии минерально-сырьевой базы страны решающее значение имеют региональные геологические исследования, создающие основу для целенаправленных поисков полезных ископаемых. В процессе проведения средне- и крупномасштабной геологической съемки за последние десятилетия накоплен огромный фактический материал о строении и полезных ископаемых самых верхних горизонтов земной коры. В результате этого практически все приповерхностные месторождения в доступных районах оказались выявленными, и основные перспективы связываются теперь с изучением все более глубоких горизонтов.

Характерной особенностью новых видов региональных геологосъемочных работ (групповой геологической съемки, аэрофотогеологического картирования, глубинного геологического картирования, геологического доизучения) является их комплексность, направленная на увеличение глубинности исследований и на укрепление связи процесса съемки с поисками и оценкой проявлений полезных ископаемых (Еремин, 1973). Вместе с тем, такие виды работ, как групповая геологическая съемка и аэрофотогеологическое картирование, позволяют осуществлять изучение крупных естественно-геологических регионов по принципу «от общего — к частному», т. е. устанавливать в первую очередь самые основные закономерности строения региона и целенаправленно концентрировать последующие детализационные работы. При таком подходе особенно важно, что не только новые, но и накопленные ранее данные о геологии региона переосмысливаются и позволяют в ряде случаев внести существенные коррективы в представления как о структуре региона в целом, так и о необходимых направлениях геологопоисковых работ.

В этом плане исключительную ценность представляет получаемая с космических аппаратов информация, которая является объективной основой для геологических обобщений такого рода, как в рамках отдельных геологических регионов, так и в планетарном масштабе. В настоящее время техника космической съемки позволяет получать материалы любого масштаба и, следовательно, осуществлять любую степень генерализации геологических объектов.

В зависимости от масштабов космических фотоснимков (КФС) на них находят отражение элементы строения земной коры разных рангов — от глобальных до локальных. При этом снимки любого масштаба содержат информацию не только об известных элементах геологического строения, но и о таких, познание которых традиционными методами затруднено или даже невозможно.

Общезвестно, что при региональных геологических исследованиях широкое распространение получили материалы аэрофотосъемки, использование которых в настоящее время является обязательным при составлении карт геологического содержания (Аэрометоды геологических..., 1971; Аэрометоды при..., 1964 и др.). Технические успехи получения новых видов материалов дистанционных съемок не только с самолета, но и из космоса открыли перед геологами дополнительные возможности.

Наибольшую информацию КФС содержат в части расшифровки структурных особенностей исследуемых территорий и, в первую очередь, при картировании и анализе разрывных нарушений. Использование КФС разных масштабов позволяет установить полный комплекс разрывных нарушений исследуемых регионов, молодых или древних платформ, областей современного эпигеосинклинального или эпиплатформенного горообразования и т. д. Сравнение результатов дешифрирования и интерпретации КФС с материалами полистной Государственной геологической съемки и составленными на их основе сводными геологическими картами обнаруживает очевидный прирост информации, выражающийся прежде всего в количестве вновь выявленных разрывных нарушений.

Анализ выделенных по КФС систем нарушений позволяет установить новые, не обнаруженные ранее в процессе геологической съемки системы нарушений. Последние, как правило, относятся к категории новейших и в большинстве случаев отвечают системам возрожденных разрывов, так или иначе выраженных в структуре древних комплексов. Анализ КФС разного масштаба представляет возможность посредством изучения параметров и морфологии разрывных зон определить, хотя и в общих чертах, относительную значимость (ранг) разрывных нарушений и их систем в структуре исследуемых регионов. Эта информация, получаемая с помощью КФС, оказывается особенно важной применительно к закрытым территориям, где структуры фундамента скрыты под мощным чехлом осадочных отложений.



Рис. 1. Космический фотоснимок района Мангышлак — Бузачи с «Союза-12»

Наглядным примером является полученный с ПКК «Союз-12» КФС района Мангышлак — Бузачи (Советский Союз, 1974). На снимке (рис. 1) изображаются складчатые сооружения Горного Мангышлака и прилегающие к ним равнины западной части Туранской плиты. На существующих картах геологического содержания (ВНИГНИ, 1968, 1971) Мангышлакско-Центрально-Устюртская зона разломов показана лишь фрагментарно в пределах части ядра антиклинория, сложенной пермотриасовыми отложениями (горы Каратау). Подобным же образом фрагментарно обозначен на тектонической и неотектонической картах Южно-Бузачинский глубинный разлом.

На схеме геологического дешифрирования КФС (рис. 2) особенно выразительно выступает густая сеть пересекающихся ли-

линеаментов, образованных отличающимися по фототону прямолинейными полосами, спрямленными участками бортов впадин и чинков плато, или слившимися воедино или в одну линию цепочками такыров, солончаков, русел временных водотоков, суффозионно-карстовых просядок, уступов и т. п.

Опознавание части выделенных линеаментов в качестве установленных ранее разрывных нарушений позволяет предположить, что и прочие, подобные им линеаменты, отражают наличие разрывных нарушений различного ранга и морфологии. На КФС видно, что система субмеридиональных разрывов в ядерной части Каратауского антиклинория принадлежит весьма протяженной системе линеаментов, секущих весь комплекс отложений осадочного чехла вплоть до позднечетвертичных образований.

Канва выявленных по КФС линеаментов пересекающихся направлений позволяет легко опознать системы разрывных нарушений, принадлежащих зонам известных глубинных разломов северо-западного простирания (Мангышлакско-Центрально-Устьюртского и Южно-Эмбенского), и сопряженные с ними системы секущих субмеридиональных разрывов, представляющих, по всей вероятности, разрывы растяжения (сбросы и раздвиги). В качестве другой пары сопряженных систем на КФС выделяются северо-западная и северо-восточная, которые расчленяют линейную Мангышлакско-Центрально-Устьюртскую зону на серию кулис.

Исследование на КФС особенностей ландшафтов района позволило наметить серию локальных положительных структур, входящих в состав линейных зон северо-западного простирания. Многие из выделенных структур нашли косвенное подтверждение при сопоставлении с геофизическими данными, в том числе при сравнении со схемами остаточных аномалий силы тяжести. Ряд структур совпал с известными локальными поднятиями и их группами (Джаман-Орлинская группа, Тюбеджинское, Жолосканское, Караманское и др.). Выполненное дешифрирование обнаруживает определенную взаимосвязь локальных складчатых структур с продольными и поперечными системами разрывных нарушений.

Таким образом дешифрирование КФС показывает, что в тектонической структуре рассматриваемого района, кроме известных ранее продольных структур, развиваются системы секущих северо-восточных и субмеридиональных разрывных нарушений, еще не получившие должного отображения на структурных картах. Анализ соотношения систем разрывов с локальными положительными структурами дает основание предполагать, что образование последних в значительной степени предопределено развитием перекрещивающихся продольных и поперечных структур складчатого глыбового основания.

Аналогичные системы линеаментов северо-восточного и субмеридионального простирания отмечались ранее и в других районах Туранской и Западно-Сибирской плит, а также в Казахстане (Артамонов, 1971; Богородский и др., 1973; Хаин и др., 1974 и др.).

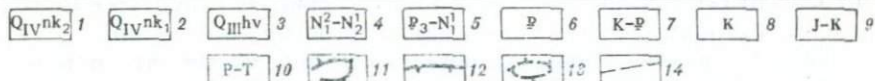
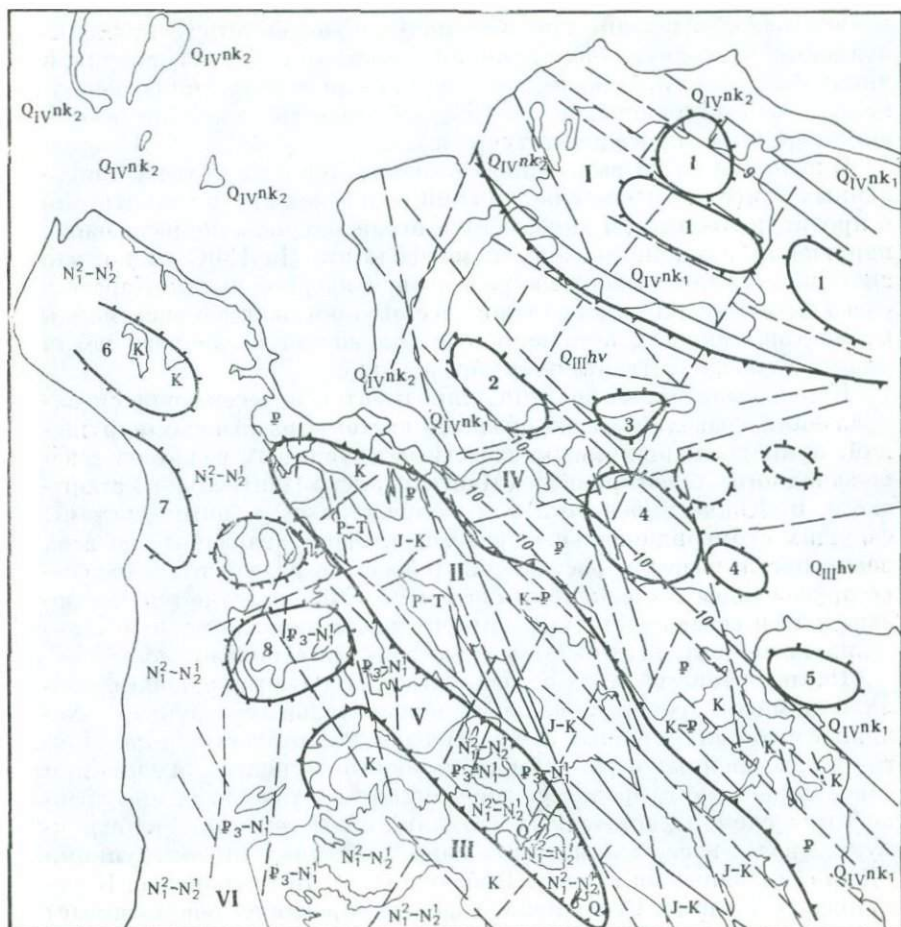


Рис. 2. Схема предварительного геологического дешифрирования КФС района Мангышлак — Бузачи

1, 2 — новокаспийский слой, нижний уровень (пески) и верхний уровень (пески) соответственно; 3 — хвалынские отложения (пески с галькой); 4 — средне-миоценовые — нижне-плиоценовые отложения (известняки, мергели); 5 — олигоцен — нижнемиоценовые отложения (глины); 6 — палеогеновые отложения нерасчлененные (глины, мергели, пески); 7 — верхне-меловые (датские) — палеогеновые отложения (известняки, мергели, пески); 8 — меловые отложения нерасчлененные (песчаники, глины); 9 — юрские, меловые отложения нерасчлененные (песчаники, алевролиты, глинистые сланцы); 10 — пермо-триасовые отложения (песчаники, аргилиты, алевролиты); 11 — контуры региональных линейных и куполовидных поднятий; 12 — контуры региональных линейных и мульдообразных прогибов; 13 — контуры локальных поднятий; 14 — протяженные системы линейментов, предположительно зоны региональных и локальных разрывных нарушений. Данные дешифрирования, подтвержденные существующими геолого-геофизическими материалами, показаны

Северо-восточному направлению следуют в основном возрожденные системы или зоны выраженных в рельефе поднятий и впадин, сопряженных с системами частично выраженных в рельефе разрывных нарушений разного порядка. Особенно яркое выражение структуры этого направления получили на КФС района Кулундинской степи, где они с резким несогласием наложены на северо-западные структуры погруженного палеозойского фундамента.

Выделяемые на КФС Туранской плиты локальные положительные структуры опознаются по закономерным конфигурациям рисунков интегрированного изображения, выражающимся в отдельных случаях в виде аномальных рисунков или тоновых аномалий (фотоаномалий), выделяющихся на общем фототоне изучаемой территории. Так, своеобразные рисунки фотоизображений локальных поднятий наблюдаются на Мангышлаке в пределах Бекебашкудукского вала, сложенного меловыми и палеогеновыми отложениями и представляющего собой линейно вытянутую структуру с пологим и широким сводом. В ряде случаев локальные структуры опознаются по более светлому фототону (например, Жетыбайская, Узеньская, Бекдашская и др.). Как правило, в этой части Туранской плиты типичной является овальная форма рисунков фотоизображения, по которым можно судить о плане положении локальных поднятий.

Результаты проведенного дешифрирования КФС платформенных областей и наземные проверочные работы, направленные на изучение линеаментов, показывают, что последние, отражая сложные деформации фундамента и имея лишь косвенное выражение в структуре чехла и рельефе, находят непосредственное отражение в особенностях ландшафта.

Тектоническая структура областей современного эпиplatformенного горообразования, где сложные складчато-разрывные дислокации сочетаются с пологими изгибами сводово-глыбовых поднятий и сопряженных прогибов, имеет на КФС мозаично-блоковый характер изображения.

На глобальных КФС отчетливо выступает генеральный план неотектонической структуры горного сооружения, в пределах которого однозначно дешифрируются продольные системы поднятий и прогибов, ограниченные зонами краевых (как правило унаследованных) разломов, которые уверенно опознаются на КФС только в участках наиболее контрастных новейших движений. Региональ-

---

на схеме сплошной линией. Региональные поднятия: I — Бузачинское, II — Мангышлакско-Центрально-Устюртское, III — Беке-Башкудукское. Региональные прогибы: IV — Южно-Бузачинский, V — Чапырганский, VI — Южно-Мангышлакский. Локальные поднятия: 1 — Джаман-Орлинской группы, 2 — Ашисорское, 3 — Ташекундукское, 4 — Кошакской группы, 5 — Кошнар-Кискундукское, 6 — Тюбеджинской группы, 7 — Жолоспанской группы, 8 — Караиманское. Разрывные нарушения: 9 — границы зоны Южно-Эмбенского глубинного разлома; 10 — границы зоны Мангышлак-Центрально-Устюртского глубинного разлома

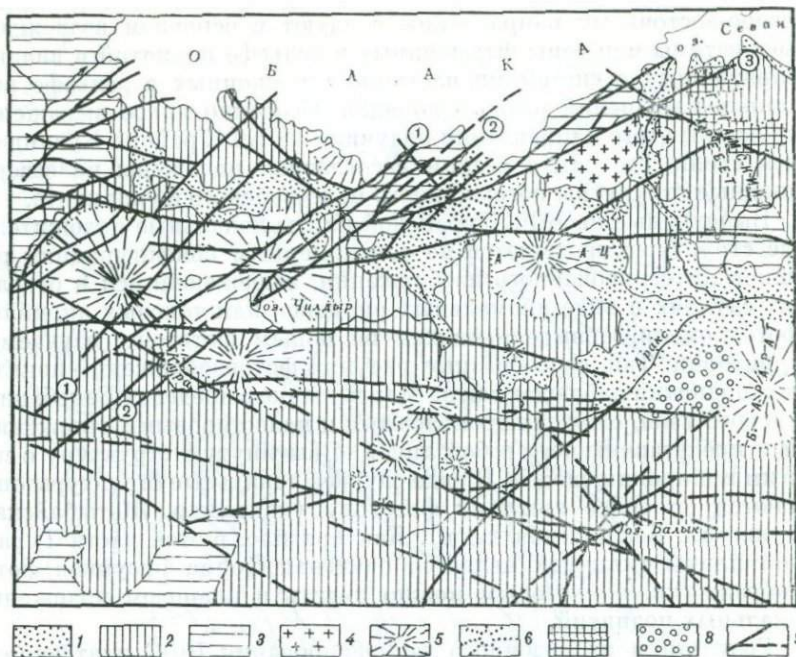


Рис. 3. Схема геологической интерпретации результатов дешифрирования КФС района Армянского нагорья

1 — рыхлые четвертичные образования; 2 — вулканогенные толщи Армянского нагорья; 3 — разновозрастные осадочные толщи; 4 — осадочно-интрузивные образования; 5, 6 — вулканические постройки, сохранившиеся (5) и разрушенные (6); 7 — участки широкого распространения шлаковых и эруптивных конусов; 8 — материал наиболее позднего выброса Б. Арарата; 9 — разрывные нарушения

ные и локальные КФС позволяют различить внутреннее зональное строение новейших структур. На КФС всех масштабов поражает обилие, по сравнению с одномасштабными геологическими картами, секущих поперечных и диагональных линейментов, часть из которых образует системы трансорогенного типа. При этом каждая система линейментов характеризуется присущим ей комплексом форм рельефа и других индикаторов (Трифонов и др., 1973).

Так, например, на КФС Армянского нагорья, полученном с ПКК «Союз-12», были зафиксированы три системы разрывных нарушений: северо-западная («кавказская»), субширотная и субмеридиональная (рис. 3). Из них наиболее яркое выражение получили субширотные разрывы, образующие зону шириной до 1,5 км. В современном рельефе эта зона представляет собой грабенообразное понижение, ограниченное с обеих сторон протяженными разломами. Зона сечет насквозь вулканическую постройку Гукасинского хребта и продолжается далее на запад-северо-запад. Раз-

рывные нарушения других направлений («кавказского» и субмеридионального) оказали, очевидно, меньшее влияние на формирование современного рельефа и геологическую структуру, благодаря чему они имеют менее выраженные дешифрировочные признаки. На основе дешифрирования данного снимка было установлено большое количество активизированных в новейшее время разрывных нарушений, которые не удалось установить традиционными наземными исследованиями.

На КФС Тянь-Шаня наиболее ярко выражена зона Таласо-Ферганского разлома, подчеркнутая светлой линией заснеженного водораздела (Макаров, 1973), а также серия субпараллельных ему зон секущих региональных линеаментов, которые совпадают с региональными разломами, выявленными ранее геоморфологически и подтвержденными геофизическими методами.

Опознавание некоторых секущих линеаментов других простирающихся (северо-восточного и северо-западного), отдешифрированных на региональных КФС Южного Тянь-Шаня, обнаружило, что в новейшей структуре им соответствуют разрывные нарушения, выраженные в рельефе и получившие отражение на карте новейшей неотектоники. В структуре палеозойского фундамента эти линеаменты вписываются в коленообразные изгибы межзональных краевых разломов и объединяют в протяженные системы фрагменты ориентированных в том же направлении разрывов герцинского возраста. Установленный характер соотношения новейших диагональных линеаментов с зонами герцинских разрывных нарушений позволяет предполагать, что эти линеаменты отвечают возрожденным, активизированным в новейшее время системам герцинских (в том числе позднегерцинских, позднее орогенных) секущих разрывов.

Дешифрирование глобальных КФС позволяет также выявить крупнейшие протяженные линеаменты планетарного масштаба, секущие главнейшие геотектонические подразделения, платформы и разновозрастные складчатые системы. Подобные линеаменты, а точнее линеаментные зоны, находят в геологической структуре и, соответственно, на геологических и тектонических картах лишь косвенное, весьма завуалированное отражение. Они проявляются обычно в очертаниях тектонических областей и систем или в аномалиях их строения и, по всей вероятности, представляют собой новую, еще не изученную категорию глубинных разломов. К категории малоизученных образований относятся также кольцевые структуры, выявленные на КФС многих районов земного шара. Первые результаты опознавания региональных и локальных кольцевых структур на геологических и геофизических материалах обнаружили преимущественно вулканоплутоническую природу этих разновозрастных образований. Часть структур была опознана как купольные интрузии или метеоритные кратеры и т. д.

Однако вопросы о природе кольцевых структур, особенно структур планетарного ранга, пока остаются открытыми. В решении их

ведущая роль принадлежит, по-видимому, целенаправленному изучению морфологии кольцевых структур, их физических полей и историко-генетическому анализу глубинной тектонической структуры.

Приведенные примеры и весь накопленный опыт структурного дешифрирования КФС обнаруживают интереснейший эффект «просвечивания» структур складчатого основания сквозь чехол более молодых отложений. Так, в зонах обширных прогибов с мощным мезо-кайнозойским чехлом (например, в Западной Сибири) «передача» изображения структур палеозойского фундамента происходит вследствие отражения в превышениях рельефа неравномерных вертикальных движений блоков гетерогенного основания.

В других случаях эффект «просвечивания» структуры фундамента обязан главным образом гидрогеологическим факторам и сопутствующим им процессам засоления, суффозии, карста и др. Как известно, региональные и планетарные разломы глубокого заложения, как правило, образуют в чехле зоны повышенной трещиноватости и гидрогеологической активности. В районах избыточного увлажнения такие зоны маркируются цепочками вытянутых озер и болот; в засушливых районах — сопровождаются цепочками солончаковых впадин, такыров, котловин выдувания и т. п. Эти морфологические элементы ландшафта фиксируются на КФС в виде определенных геометрических форм и в ряде случаев отражают границы раздела крупнейших тектонических блоков основания.

Обычно механизм эффекта «просвечивания» носит смешанный характер. Например, в Восточном Приаралье и Чуйской синеклизе повышенная фильтрация в зоне активизированного глубинного Каратау-Тургайского разлома сочетается с новейшими дифференцированными движениями по системам новейших разрывов северо-восточного простирания. В результате формируются структурно изолированные бессточные впадины, в которых происходит разгрузка глубинных артезианских вод в виде восходящих родников, приуроченных к тектоническим нарушениям (Арыс, Мынбулак, серия впадин в Чу-Сарысуйской котловине и т. п.).

В областях с преобладанием аккумулятивно-денудационного (пенеппенизированного) рельефа эффект «просвечивания» проявляется вследствие изображения на КФС останцовых форм рельефа, проступающих из-под маломощного чехла осадков. В качестве основного фактора здесь выступает избирательная денудация, препарирующая кольцевые или линейные зоны уплотненных пород, распределение которых в пространстве контролируется древней структурой.

Крупным элементам новейшей структуры, различающимся направленною и интенсивностью тектонических движений, отвечают на поверхности Земли комплексы типов ландшафтов, формирующие на КФС свои рисунки фотонизображения, нередко разли-

чающиеся также по фототону. В качестве границ генетических типов ландшафтов (аккумулятивного, денудационного, эрозионного и т. п.) выступают, как правило, разломы регионального значения, изображающиеся на КФС в виде протяженных зон линейаментов. Таким образом, при дешифрировании по КФС глубинной структуры основой является ландшафтный метод, базирующийся на тесных взаимосвязях формирующих фотоизображение особенностей ландшафта с новейшими движениями, которые, как известно (Гарецкий, 1971, Дикенштейн, Кравченко, 1969 и др.), носят унаследованно-наложенный характер и во всех случаях воспроизводят черты древнего структурного плана.

Изложенное показывает, что КФС могут дать достаточно обширную региональную информацию по структурно-тектоническому плану обширнейших территорий. Используя основное преимущество этих материалов — их обзорность, охват одним снимком огромнейших площадей — очевидно следует рекомендовать их использование при составлении или ревизии мелкомасштабных, обзорных карт структурно-тектонического содержания. В то же время такие материалы могут быть использованы и при среднемасштабных региональных работах для выяснения и осмысления общего геоструктурного положения изучаемой территории.

Дешифрирование КФС разных масштабов позволяет по комплексу ландшафтных признаков (мезо- и микроформы рельефа, почвы, растительности и др.) уверенно выделять основные литолого-стратиграфические комплексы, а в некоторых случаях — проследивать даже отдельные пласты пород, различающиеся по окраске, литологическим свойствам и степени устойчивости к выветриванию. С наибольшей отчетливостью выражены на КФС литолого-стратиграфические комплексы мезозойских и кайнозойских, а также верхнепалеозойских отложений платформенных равнин, предгорных, межгорных впадин и низких предгорий. Так, например, в центральной части Таджикской депрессии мощные толщи монотонных, близких по своим механическим свойствам пород, таких, как песчаники, алевролиты или конгломераты, характеризуются четкими формами рельефа, связанного с повышенной устойчивостью этих пород к процессам выветривания. Напротив, породы, слабые по отношению к процессам выветривания (глины, глинистые сланцы, мергели, мягкие известняки и различные галогенные образования), дешифрируются по сглаженным контурам, слабо контрастными тенями, создаваемым выполненными понижениями в рельефе, плавному рисунку гидросети, а нередко и ячеистому рисунку, связанному с карстово-суффозионными процессами или засолением глинистых почв. Литолого-стратиграфические комплексы, состоящие из чередующихся «мягких» и «крепких» пластов, могут дешифрироваться различно. Если мощность последних значительно превышает суммарную мощность «мягких» пород, то такая толща на снимках выражается как монотонный «крепкий» пласт. В случае преобладания «мягких» пород наблюдается

обратная картина. При равной мощности тех и других пород толща дешифрируется по слегка полосчатому рисунку.

Перечисленные выше особенности изображения литолого-стратиграфических комплексов позволяют производить довольно дробное расчленение последних. Например, на КФС района Мангышлака — Бузачи (рис. 1 и 2) уверенно дешифрируются семь комплексов отложений в возрастном диапазоне от пермо-триаса до палеоцена. В областях интенсивного горообразования (хребты Петра I, Заалайский), отличающихся весьма значительной глубиной расчленения, показанная выше высокая физиономичность мезокайнозойских комплексов в значительной степени утрачивается.

В отличие от мезокайнозойских, сложно-дислоцированные комплексы палеозойских и более древних отложений, как правило, труднее поддаются дешифрированию на КФС и требуют для опознания специальных навыков. Некоторое исключение представляют локальные КФС с высокой разрешающей способностью, приближающиеся по своим качествам к аэрофотоснимкам. Особенной сложностью дешифрирования отличаются горные районы Тянь-Шаня, Алтая и т. п.

Возможность распознавания на КФС интрузивных массивов, в частности гранитоидов, определяется в первую очередь некоторой изометричностью их контуров и, как правило, «ломаным» рисунком гидросети, направление которой предопределено трещиноватостью. Вулканические аппараты опознаются по характерной звездчато-лучевой форме. Таким образом, для интрузий и вулканитов определяющую роль в дешифрировании играет геометрия рисунка фотоизображения. Особенности изображения вулканогенного комплекса наглядно представлены на рис. 3. На территории Армянского нагорья эти образования являются самыми молодыми, о чем говорит видимое, местами несогласное их залегание на отложениях других комплексов — осадочно-интрузивных и осадочно-вулканогенных. В поле развития вулканогенного комплекса легко оконтуриваются хорошо сохранившиеся вулканические постройки правильной конической формы, вершины и склоны которых расчленены глубокими долинами; вблизи оз. Севан видно большое количество шлаковых и эруптивных конусов. Местами виден слоистый характер вулканогенного комплекса. Тот же признак, слоистость, положен в основу выделения осадочно-вулканогенного комплекса. На КФС видно также, что толщи смяты в линейные складки, которые особенно хорошо читаются в Базумском хребте и на юго-западном склоне Гегамского.

Материалы космического фотографирования оказывают существенную помощь при изучении возрастных и генетических типов образований четвертичного возраста. Молодые отложения в сочетании с рельефом создают наиболее четко выраженные рисунки и тона фотоизображения поверхности, которые подчеркиваются (отнюдь не искажаются) почвенно-растительными сообществами. Решающее значение в диагностике четвертичных отложений имеет

анализ их пространственного положения и характера взаимосвязи с современным рельефом. Так же, как и на аэрофотоснимках, на КФС (особенно локальных) совершенно однозначно дешифрируются образования конусов выноса, речных и морских террас, солончаков, такыров, золотых песков и т. д. Выделение внутри генетических типов возрастных подразделений основано на анализе последовательности их образования и степени расчленения рельефа. Так, например, на КФС района Мангышлак — Бузачи (рис. 1) новокаспийские слои расчленяются на два возрастных подкомплекса, существенно отличные от комплекса хвалыньских отложений.

Из приведенного обзора результатов дешифрирования КФС различных регионов видно, что любому литолого-стратиграфическому комплексу, характеризующемуся единством условий образования и развития при прочих равных условиях<sup>1</sup>, присущи свои особенности, выражающиеся на КФС своеобразным рисунком и тоном фотоизображения, в основе формирования которых заложены особенности ландшафтов местности. Это позволяет широко использовать КФС при проведении не только региональных исследований, но и стратиграфических корреляций на обширных территориях многих регионов. Наиболее целесообразно использовать результаты дешифрирования разномасштабных КФС в сочетании с материалами аэрофотосъемки, при этом даже минимальный объем наземных проверочных наблюдений обеспечивает весьма высокую надежность дешифрирования.

КФС представляет также удовлетворительную возможность для выделения площадей распространения определенных типов вод (трещинных, трещинно-карстовых, поровых и т. д.); на основании структурно-геологического дешифрирования возможно прогнозирование элементов динамики подземных вод, выделение основных гидродинамических областей грунтовых вод и вод верхней структурной зоны. В некоторых случаях представляется возможным определение зон накопления и разгрузки вод артезианских бассейнов, выделение основных водоносных комплексов и т. п. На локальных КФС в ряде случаев различимы практически все ландшафтные гидроиндикаторы, включая естественные выходы подземных вод или искусственные водопроявления. Большой интерес представляет возможность картирования зон повышенной трещиноватости и связанных с ними гидродинамических процессов. Так, на Устюрте по комплексу такыров, осложненных карстово-суффозионными явлениями, отлично прослеживаются зоны повышенной трещиноватости, приуроченные к региональному разлому, по которому идет наиболее интенсивное движение подземных вод. В частности, оказалось возможным проследить и установить очевидную приуроченность к субмеридиональному региональному разлому

<sup>1</sup> Имеются в виду географические, климатические, сезонные условия, условия залегания и т. д.

родников, расположенных в западной части солончака Барсакельмес. Это позволяет рекомендовать использование разномасштабных КФС при гидрогеологическом картировании.

Изложенный материал показывает, что дешифрирование по КФС структурно-тектонических, литолого-стратиграфических элементов геологического строения так же, как и молодых рыхлых отложений и гидрогеологических условий, должно осуществляться с учетом взаимных связей и взаимной обусловленности комплекса природных объектов и явлений. Практическая задача сводится к установлению объективно существующих закономерных связей, возникающих в процессе развития скрытых геологических объектов и явлений с внешними объектами и явлениями ландшафта (рельефом, гидрографической сетью, современными зоогенными и антропогенными образованиями) и их закономерными сочетаниями — ландшафтами. В этом отношении большую помощь могут оказать составляемые по КФС схемы предварительного ландшафтного дешифрирования. Сопоставление их со схемами предварительного геологического дешифрирования показывает высокую сходимость контуров геологических объектов с распространениями ПТК. Представляется, что такие схемы целесообразно использовать как промежуточный материал дешифрирования при составлении по КФС различных карт геологического содержания (геологических, структурно-тектонических, четвертичных отложений, гидрогеологических, инженерно-геологических и др.).

В настоящее время возможности использования КФС при региональных геологических исследованиях изучены далеко не полностью. Однако объем и значимость извлекаемой с помощью КФС информации настолько велики, что уже сейчас их использование должно стать обязательным этапом при осуществлении любых региональных геологических работ. Особенно перспективным представляется составление космофотогеологических карт для ведущих горнорудных районов и районов интенсивного хозяйственного освоения.

Наряду с совершенствованием качества и методики дешифрирования материалов космической съемки важнейшее значение приобретают работы по рациональному комплексированию новых аэрокосмических и традиционных (в первую очередь геофизических) методов исследования глубинной структуры. Необходимой составной частью объективного прогноза распределения полезных ископаемых должен быть совместный анализ физических полей Земли и результатов дешифрирования КФС.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Артамонов М. А., Исаев Е. Н. Геофизическая информативность космических фотоснимков полуострова Мангышлак.— ДАН СССР, 1971, т. 1.  
Аэрометоды при геологической съемке и поисках полезных ископаемых, т. 1. М., «Недра», 1964.

- Аэрометоды геологических исследований. Л., «Недра», 1971.
- Богородский С. М., Гаврилов В. П., Кирюхин Л. Г.* и др. Строение Туранской плиты по данным комплексной интерпретации геолого-геофизических и космогеологических исследований (в связи с перспективностью нефтегазоносности).— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1973, № 7.
- Гарсуцкий Р. Г.* Проблема унаследованности структур чехла молодых платформ. Проблемы геологии Западного Казахстана. Алма-Ата, «Наука», 1971.
- Дикенштейн Г. Х., Кравченко К. Н.* Краткая характеристика крупных структур запада Средней Азии.— Тр. Всесоюз. науч.-исслед. геологич. нефт. института. М., ВНИГНИ, 1969, вып. 66.
- Еремин В. К.* Пути повышения экономической эффективности региональных геологосъемочных работ. Л., «Недра», 1973.
- Карта новейшей тектоники юга СССР М 1:1 000 000. М., ВНИГНИ, 1971.
- Макаров В. И.* Дешифрируемость тектонических структур областей молодого эпициатформенного горообразования на космических снимках Земли (на примере юго-западного Тянь-Шаня).— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1973, № 7.
- Макаров В. И., Трифонов В. Г., Щукин Ю. К.* Отражение глубинной структуры складчатых областей на космических снимках.— Геотектоника, 1974, № 3.
- Советский Союз, 1974, № 4.
- Тектоническая карта Запада Средней Азии М 1:1 000 000. М., ВНИГНИ, 1968.
- Трифонов В. Г., Бызова С. Л., Ведешин Л. А.* и др. Вопросы методики геологического дешифрирования космических изображений Земли.— В сб.: Исследование природной среды космическими средствами, т. I. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1973.
- Хаин В. Е., Богородский С. М., Кац Я. Г.* и др. Некоторые аспекты дешифрирования космических и телевизионных снимков отдельных регионов Алтайского складчатого пояса и Туранской плиты.— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1974, № 8.



*В. И. Макаров, В. Г. Трифонов*

## О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Структурно-геологическое дешифрирование снимков Земли из космоса в настоящее время проведено в пределах различных геотектонических областей Евразийского континента, Африки, Северной и Центральной Америки. Полученный опыт показал, что космические снимки представляют собою новый инструмент в геологических исследованиях, использование которого весьма перспективно, в частности, при тектоническом, структурно-геологическом и структурно-геоморфологическом районировании регионального и глобального масштабов. Значительная часть опубликованных результатов дешифрирования космических снимков касается как раз уточнения границ крупных структурных образований, их plano-

вых взаимоотношений, установления структурных элементов, объединяющих различные структурно-формационные зоны и области, в том числе единых для смежных платформенных и складчатых областей. Еще большее внимание уделено выявлению и прослеживанию на земной поверхности отдельных структурных элементов — разрывов, складок, своеобразных кольцевых структур, вулканических центров, дайковых поясов и других образований, которые нередко являются важными для понимания закономерностей региональной и локальной тектоники.

Практика дешифрирования открыла ценное свойство космических снимков. На них обнаруживается своеобразная «рентгеноскопичность» земной поверхности. Уже первые опыты дешифрирования снимков так называемых «закрытых» территорий выявили в их пределах ранее неизвестные или предполагавшиеся только по косвенным геофизическим и геоморфологическим данным структуры погребенного фундамента (Lowman, 1966, 1969; Скарятин, 1970; Башилова, 1971, 1972; Виноградов, Кондратьев, 1971).

Это своеобразное просвечивание тектонических структур сквозь покров более молодых недислоцированных или слабодислоцированных отложений известно из практики дешифрирования аэрофотоснимков. Однако «рентгеноскопичность» космических снимков оказалась значительно более глубокой, мощность покрова, сквозь который читаются элементы инфраструктуры земной коры, может достигать сотен и даже тысяч метров. В сочетании с другим важнейшим свойством космических фото- и телеизображений земной поверхности — естественной генерализацией структуры последней — «рентгеноскопичность» космических снимков позволила во многих областях Земли обнаружить ряд ранее неизвестных геологических образований, уточнить размеры и местоположение некоторых уже известных структур или их элементов. Тем самым были предложены поправки в схемы тектонического районирования, поставлены новые вопросы региональной тектоники в ее теоретических и практических аспектах.

Представляется, однако, что исследование глубинного строения земной коры с применением космических снимков не следует ограничивать поверхность погребенного складчатого фундамента платформенных областей, его можно распространить и на более глубокие слои земной коры, вплоть до верхней мантии. При этом существенно новую информацию о глубинной структуре можно получить не только для платформ, но столь же успешно и для складчатых областей. В этом нас убеждает опыт тектонической интерпретации космических изображений Кавказа и Памиро-Тянь-Шаньской области, некоторые результаты и выводы которой приводятся ниже<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Значительная часть рассматриваемого материала ранее уже была опубликована (Макаров и др., 1974) и здесь повторена лишь в самых основных своих фактах и положениях.

Рассмотрим на примере Тянь-Шаня и Памира области новейшего (олигоцен-четвертичного) эпиплатформенного горообразования. Еще в начале века Арган (1935), обобщая весьма еще скудный материал по тектонике Азии в свете гипотезы о дрейфе континентов и представления о пластическом течении масс земной коры, показал, что цепи огромной высоты и со значительными шарьяжами образуются на континентальных площадях, без геосинклинали, и что эти деформации континентальных массивов имеют складчатую природу. Охватывая древнее «замороженное» или, как теперь называют, «жесткое» основание, эта складчатость является глубинной. Складчатости подвергается сама масса континента. При этом различные этажи осадочного покрова, как предполагал Арган, к этой деформации относятся различно, а плоскости, разделяющие эти этажи, допускают их скольжение друг относительно друга, чем облегчается глубинная складчатость. Всю «альпийскую» тектонику Центральной Азии он связывал со сдвижением навстречу друг другу континентов Евразии (Ангарида) и Индо-Африки (Гондваны).

Обстоятельная характеристика молодых складок основания Тянь-Шаня, определяющих его современный рельеф, была дана Шульцем (1948). В дальнейшем они изучались и описывались (прямо или косвенно) многими геологами, геофизиками и геоморфологами. Далеко не всеми из них они признавались в качестве таковых и объяснялись с других тектонических позиций. Но, так или иначе, глубинная природа новейших складок основания Тянь-Шаня и Памира была подтверждена. Значительная их часть, очевидно, охватывает «гранитный» слой земной коры и имеет «корни» в области раздела «гранитного» и «базальтового» слоев земной коры. Во всяком случае, это справедливо если не для отдельных складок, то для образуемых ими антиклинальных и синклиналиных зон (зон поднятий и зон впадин). Еще более крупные образования — синклинорного типа системы межгорных и предгорных прогибов (например, Нарыно-Ферганская или Чу-Илийская) и антиклинорного типа системы поднятий (например, Южно-Тянь-Шаньская или, иначе, Туркестано-Кокшаньская) — отражены в области раздела земной коры и верхней мантии. Столь же глубоким заложением характеризуются и некоторые зоны разломов соответствующего порядка, которые по отношению к складчатым деформациям являются либо продольными (например, Южно-Тянь-Шаньская), либо секущими (поперечными или диагональными, как, например, Таласо-Ферганская). При этом геолого-геофизическими и структурно-геоморфологическими исследованиями устанавливаются глубинные разломы как открытого типа или сквозные (например, Таласо-Ферганский разлом), так и скрытые, которые на земной поверхности проявлены лишь в ряде особенностей пространственного распределения локальных складок и разрывов (Костенко и др., 1972).

На космических снимках Тянь-Шаня и Памира во всех мас-

штабах дешифрируются главным образом неотектонические структурные образования. На крупно- и среднемасштабных снимках, снятых с пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций, это отдельные складки основания и, чаще всего, их зоны; на мелкомасштабных снимках — только зоны и системы поднятий и впадин. Они являются структурными образованиями глубинного заложения, уходящими своими «корнями» к областям разделов Конрада и Мохоровичича. Кроме того, на снимках проявлен целый ряд линеаментов и линеаментных зон. Некоторые из них соответствуют зонам глубинных разломов, ярко проявленных в приповерхностной геологической структуре и выявленных при наземных исследованиях; другие же представляют собой зоны скрытых глубинных разломов, предполагавшиеся по геолого-геоморфологическим и геофизическим данным, либо намеченные впервые и требующие своего изучения. Не повторяя всех опубликованных данных (Макаров, 1973; Трифонов и др., 1973; Макаров и др., 1974), остановимся коротко на линеаментах западной границы Тянь-Шаня. Для их анализа были использованы среднемасштабные фотоснимки, сделанные В. И. Севастьяновым и А. Г. Николаевым с ПКК «Союз-9», и фототелевизионные снимки, полученные с советских и американских автоматических метеорологических спутников.

На самом мелкомасштабном снимке проявлен линеамент северо-восточного простирания, который выступает не только в виде достаточно резкой и очевидной западной границы горных систем Тянь-Шаня, но прослеживается и в пределах Сырдарьинской и Голодностепской аккумулятивных равнин. Этот линеамент, очевидно, соответствует Западно-Тянь-Шаньскому глубинному разлому, связанному с неоднородностями нижних частей земной коры и верхней мантии (Таль-Вирский, 1972).

На более крупномасштабном фототелевизионном снимке с «Метеора» и фотоснимке с ПКК «Союз-9» более отчетливо обозначена линеаментная зона субмеридионального простирания, которую Скарятин (1973) наметил под названием Туркестан-Акчайского линеамента. Одновременно и независимо от него были отдешифрированы и подробно охарактеризованы Джизакское, Ширабадское и Шардаринское звенья этой зоны (Макаров, 1973; Макаров и др., 1974).

Взаимоотношения Туркестан-Акчайской и Западно-Тянь-Шаньской линеаментных зон, пересекающихся в районе Джизакского оазиса, остаются недостаточно выясненными. Можно предполагать, что различная отчетливость их проявления на снимках с разной разрешающей способностью может быть связана с тем, что эти линеаментные зоны отражают на земной поверхности деформации разного масштаба и разной глубины заложений. Возможно, что на участке от Джизака до Кашкадарьинской впадины в верхних структурных этажах предпочтительно и более активно развито субмеридиональное тектоническое нарушение, а на более глубоком

структурном уровне значительно активнее проявлено нарушение северо-восточного простирания. Однако южнее в пределах Юго-Западного Гиссара имеет место обратная картина, т. е. северо-восточные простирания более активны в верхних горизонтах земной коры, меридиональные — в нижних. Таким образом, рассмотренные линеаменты свидетельствуют об определенной дисгармонии в структуре разных горизонтов земной коры.

Эта дисгармония, вероятно, не означает, что разные горизонты земной коры развиваются независимо друг от друга. Скорее всего здесь имеет место различная реакция разных по своей структуре горизонтов земной коры на одни и те же тектонические силы. Во всяком случае, тектодинамический анализ структуры приповерхностных горизонтов земной коры и сейсмологические данные о напряжениях и смещениях, происходящих в более глубоких горизонтах земной коры, указывают на принципиальное сходство направлений приложенных тектонических сил во всей толще земной коры, но при этом оказывается, что активность проявления структуры того или иного направления по простиранию и на разных глубинах земной коры не остается постоянной. То одно, то другое направление выходит на первый план; другие сопряженные направления затухают, чтобы в другом районе или на другом структурном уровне, очевидно в более благоприятных условиях, вновь активизироваться. Таким образом, геологическая структура имеет перекрестный характер, который достаточно хорошо проявлен на изображениях из космоса. На них, по существу впервые, обозначились, как реально существующие, многие поперечные и диагональные (по отношению к крупным поверхностным структурам) дислокации, которые ранее, будучи выделенными по косвенным геолого-геоморфологическим критериям, либо вовсе не признавались геологами, либо принимались с известной долей сомнений и скептицизма.

В этом отношении большой интерес представляют мелкомасштабные фототелевизионные изображения Ферганской впадины и ее горного обрамления. На них со всей очевидностью проявлены текущие структурные направления. На существующих же геологических картах они резко подавлены зонами Тяньшаньского простирания — широтного на юге и северо-восточного на севере — и проявлены очень ограниченно. В пределах же обширных аккумулятивных равнин Ферганской впадины и зон предгорных возвышенностей, сложенных мезо-кайнозойскими отложениями, поперечная тектоническая дифференциация выражена еще слабее и подтверждалась лишь косвенно, по данным геоморфологического анализа (Костенко, 1964) и геофизических исследований (Зунунов и др., 1974). На космических же снимках мы видим, что Чаткало-Кураминская неотектоническая система поднятий северо-восточного — юго-западного простирания, достаточно монолитная с точки зрения наземного наблюдателя, разбита на отдельные блоки довольно частыми нарушениями северо-западного и субмери-

диовального простираний. Такие же разрывы, частично продолжающие Чаткало-Кураминские, пересекают Ферганскую впадину, они же развиты в массиве палеозойских пород, образующих широтную систему поднятий Туркестано-Алая. Судя по геофизическим данным, по крайней мере часть этих разрывов относится к категории глубинных, проявляющихся значительно глубже палеозойского складчатого фундамента впадины, который и сам погребен под толщей мезо-кайнозойских осадков мощностью до 10 км. Таким, например, является линеамент северо-западного простирания, которому в Фергане отвечает Кокандская глубинная флексурно-разрывная зона, а в пределах Угамо-Чаткальской системы поднятий — значительные возмущения и деформации ее продольных структур, наследующие, очевидно, позднегерцинскую зону весьма энергичных деформаций и магматических явлений.

С рассматриваемой точки зрения значительный интерес представляет широтный линеамент, отвечающий, по-видимому, Южно-Ферганскому глубинному разлому. В юго-восточном углу Ферганской впадины и предгорьях Алайского хребта, где приповерхностные структуры (повейшие и герцинские) характеризуются господством дугообразных юго-западных — северо-восточных простираний, Южно-Ферганский разлом по существу теряется. На мелко-масштабных же фототелевизионных снимках он и здесь прослеживается весьма отчетливо. Можно предполагать, что на этом участке Южно-Ферганский разлом погребен под позднегерцинскими и, возможно, неотектоническими покровами. Но продолжающиеся по нему движения вызывают деформации покровных структур, которые и проявляются при достаточной генерализации их рисунка.

Аналогичным образом в пределах восточной части Алая и юго-востока Ферганской впадины проявляется Каракуль-Балхашская субмеридиональная зона растяжений (Макаров, Соловьева, 1975), глубинная природа памирского участка которой была показана Винником и Лукком (1974).

Выражение Каракуль-Балхашской и Южно-Ферганской зон разломов на космических снимках позволяет предположить, что и в данном случае мы имеем дело с автономным проявлением тектонических движений на разных структурных уровнях и что с помощью космических снимков мы можем эту дисгармонию обнаружить и протрассировать структуры, погребенные под тектоническими покровами.

Несоответствие структурного плана глубинных слоев земной коры Тянь-Шаня его приповерхностным горизонтам, устанавливаемое с помощью космических снимков, хорошо подтверждается закономерностями пространственного распределения очагов землетрясений, зон поглощения сейсмической энергии и зон повышенной плотности сейсмогенных дислокаций, т. е. таких явлений, которые наиболее определенным образом освещают строение глубинных горизонтов земной коры. В качестве примера приведем схему плотности глубинных сейсмогенных нарушений Тянь-Шаня, со-

ставленную Щукиным (1973). Отсутствие точного совпадения в плане линеаментов и зон повышенной плотности глубинных сейсмодислокаций в данном случае не является отрицательным аргументом, поскольку может быть связано с возможным наклоном глубинных разломов и проекциями глубинных и приповерхностных их частей не на одну линию.

Аналогичные выводы были получены при сопоставлении линеаментов Восточного Кавказа с данными о глубинном его строении. На космических снимках также нашли отражение прежде всего крупные элементы неотектонической структуры. Наиболее важными из них и отчетливо выраженными на самых мелкомасштабных снимках являются своды Большого и Малого Кавказа и разделяющая их система межгорных впадин, т. е. структурные образования, отраженные в деформациях подошвы земной коры.

Что же касается довольно многочисленных линеаментов, обнаруженных на космических снимках более крупного масштаба, то особое внимание мы обратили в первую очередь на те, которые являются секущими по отношению к главным простираниям Кавказа и весьма плохо обнаруживаются при наземных исследованиях. Сопоставление их с имеющимися геологическими картами и схемами структуры различных поверхностей земной коры (сарматской, отражающей неотектоническую деформацию, доюрского фундамента, кровли «базальтового» слоя и подошвы земной коры) обнаружило следующее.

Большинство из этих линеаментов пространственно не коррелируется с важнейшими элементами приповерхностной геологической структуры — структурно-фациальными и складчатыми зонами, складками и разрывами общекавказского простирания. Наибольшее согласие отмечается между линеаменстами и некоторыми секущими элементами неотектонической и альпийской структур. Большинство таких элементов выявляется лишь по ряду косвенных геологических признаков и, по общему мнению, отражает зоны деформаций глубоких горизонтов земной коры, в том числе скрытых глубинных разломов. Это подтверждается достаточно хорошим соответствием между линеаменстами и, с одной стороны, зонами геолого-геоморфологических секущих «аномалий» в альпийской и новейшей структуре, а с другой, — структурой гравитационного поля, зонами повышенной плотности глубинных сейсмогенных дислокаций и зонами поглощения сейсмической энергии, которые отражают структуры глубоко погребенной поверхности доюрского основания и поверхности «базальтового» слоя. В общем, это сопоставление показало, что намечается более или менее полное соответствие крупнейших линеаментов, отдешифрованных на космических снимках Кавказа, латеральным разделам земной коры на глубинах около 10—30 км.

Линеаменты Кавказа, которые, таким образом, отражают глубинное строение земной коры, также фиксируют собою некоторые отличия между планом приповерхностной структуры и струк-

туры глубинных горизонтов. Это дает основание предполагать, что между разными горизонтами земной коры и здесь имеет место более или менее значительная структурная дисгармония, которая может оказаться более существенной, чем дисгармония между осадочным чехлом и поверхностью доюрского фундамента, где, несмотря на наличие очевидных срывов, сохраняются близкие простиранья структурных форм.

Таким образом, геологическая интерпретация космических изображений земной поверхности складчатых областей показывает, что степень генерализации, достигаемая на них, выявляет в первую очередь и лучше всего образования новейшего структурного яруса, а именно структуры последней орогенной стадии развития земной коры (олигоцен-четвертичные на Тянь-Шане, позднемиоцен-четвертичные на Кавказе). При этом космические снимки позволяют как бы непосредственно видеть среди них глубинные образования, которые достаточно хорошо связываются с рельефом тех или иных разделов между глубинными горизонтами земной коры и кровли верхней мантии, а также с глубинными зонами латеральных ее разделов и линейных деформаций.

Произведенные сопоставления космических изображений с различными данными о глубинном строении земной коры подтвердили высказанные ранее предположения о том, что чем с большей дистанции ведется наблюдение или, иначе, чем меньше разрешение снимка и больше его обзорность, тем более глубокие горизонты земной коры становятся видимыми (вернее сказать, становятся видимыми такие особенности земной поверхности, которые отражают деформации все более глубинных горизонтов земной коры). По существу, дешифрирование разномасштабных космических снимков дает эффект, аналогичный тому, которым широко пользуются геофизики для выделения в наблюдаемых геофизических полях различных категорий региональных и частных (местных) составляющих, а именно пересчетом этих полей на различные высотные уровни верхнего полупространства.

Дешифрирование космических изображений с различной решающей способностью выявляет или подтверждает значительные различия в структурных планах приповерхностных и глубинных горизонтов земной коры, ее дисгармонию. Так, на Восточном Кавказе в верхних горизонтах коры преобладает зональность общекавказского простиранья, а ниже, примерно на уровне поверхности «базальтового» слоя большое, если не решающее, значение приобретают секущие нарушения. На уровне подошвы земной коры вырисовывается система поднятий и впадин вновь общекавказского простиранья. Сходная этажность намечается и на Тянь-Шане. В его верхних структурных горизонтах преобладают формы тяньшаньского простиранья. Ниже они укрупняются и вместе с тем возрастает роль секущих по отношению ко всему горному сооружению глубинных нарушений. Сравнение Кавказа и Тянь-Шаня показывает, что указанное структурное несогласие

на Тянь-Шане находится гипсометрически и структурно ниже. Структуры верхнего этажа здесь достигают, вероятно, поверхности базальтового слоя, а нижнего — поверхности Мохоровичича. Это различие, возможно, связано с различным временем развития и завершения формирования гранитного слоя и различным характером неотектонической структуры.

Горные сооружения Кавказа и Тянь-Шаня, согласно широко распространенной в настоящее время точке зрения, сформировались в условиях интенсивного субгоризонтального сжатия. Можно предполагать, что глубинные горизонты земной коры, которые, вероятно, отличаются относительной гомогенностью, реагируют на это сжатие формированием субширотных складок основания и связанных с ними разрывов свола (согласных со складками взбросо-надвигов и диагональных по отношению к ним сдвигов) и растяжения (поперечных к складкам сбросов и раздвигов). Эти структурные образования и проявлены прежде всего в различных геофизических полях, отражающих строение глубоких горизонтов земной коры.

В верхних же ее горизонтах, отличающихся значительной неоднородностью своей структуры, вобравшей в себя образования разного возраста, различного генезиса и ориентировки создавших их напряжений, новейшие тектонические направления естественным образом преломляются древними неоднородностями. Генерализация же структуры земной поверхности, получаемая на космических снимках, как бы снимает эту «вуаль» древних направлений, проявляя собственно неотектонические направления, замаскированные на поверхности, но, вероятно, более полно представленные на глубине.

В заключение хотелось бы остановиться на вопросе о возможных путях передачи информации о структуре глубинных горизонтов коры в структуре ее поверхности, ибо такая возможность некоторыми исследователями вообще ставится под сомнение (Астахов, Ероменко, 1974). Так уже повелось в практике геологических исследований, продиктованной хозяйственными нуждами человека, что на этой поверхности геологи привыкли видеть лишь следы прошедших геологических событий, которые запечатлелись в достаточно очевидных образованиях (более или менее мощных толщах осадочных отложений, комплексах изверженных пород, формах рельефа). Тектонические процессы «сегодняшнего дня» практически не могут быть изучены традиционными геологическими методами. Они, по существу, выпадают из сферы деятельности геолога, составляя удел и привилегию геофизиков и, пожалуй, геоморфологов. Очевидно, что современные тектонические процессы, происходящие в недрах Земли, находят отражение в деформациях поверхности Земли и происходящих на ней физико-химических процессах. Задача состоит лишь в том, чтобы все эти процессы обнаружить. Для этого должны исследоваться следующие объекты и явления:

1) тектонические деформации земной поверхности и предопределенные ими особенности экзогенных процессов;

2) изменение структуры и состава газово-жидких глубинных потоков, которые, как можно предположить, связаны с различными по глубине заложения и своему качеству источниками;

3) тепловые, электромагнитные, гравитационные и другие геофизические особенности местности, которые также отражают глубинные тектонические процессы и распределения масс.

Фиксируясь, очевидно, в тех или иных порою неуволнимых особенностях ландшафта (в частности, почвенно-растительного покрова), они безусловно передают определенную информацию как о своих источниках, так и о той среде, через которую они проходят к дневной поверхности. Этим самым, по-видимому, и обеспечивается «авторентгеноскопичность» земной поверхности. Генерализация же, достигаемая на космических снимках, устрояя детали локального происхождения, сохраняет как раз эти наиболее общие черты ландшафта и делает эту информацию видимой.

Высказанные соображения позволяют оптимистично подходить к космическим снимкам, как источникам информации о глубинном строении земной коры и использовать их в комплексе с геофизическими и геоморфологическими методами.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Арган Э. Тектоника Азии. М., ОНТИ, 1935.
- Астахов В. И., Ероменко В. Я. Значение геологической информации с телевизионных космических снимков закрытых районов (на примере Приенисейской Сибири).— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 2. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1974.
- Башилова И. И. Земля из космоса.— Наука и жизнь, 1971, № 7.
- Башилова И. И., Еремин В. К., Мазин Г. В. Некоторые результаты применения телевизионных изображений Земли, переданных из ближнего космоса, для изучения региональных геологических структур.— Сов. геология, 1972, № 1.
- Башилова И. И., Мазин Г. В., Еремин В. К. Исследование космических телевизионных снимков — средство тектонического районирования.— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1973, № 7.
- Брусничкина Н. А., Гусев Н. А. Возможности изучения глубинной структуры Западной Грузии по данным дешифрирования космических фотографий.— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 2. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1974.
- Винник Л. П., Лукк А. А. Латеральные неоднородности верхней мантии под Памиро-Гиндукушем.— Изв. АН СССР. Сер. физика Земли, 1974, № 1.
- Виноградов Б. В., Кондратьев К. Я. Космические методы землеведения. Л., Гидрометеиздат, 1971.
- Зунцунов Ф. Х., Ахметжанов М. А., Борисов О. М. и др. Глубинное геологическое строение Ферганской межгорной впадины и его изучение геофизическими методами. Ташкент, Изд-во «ФАН», 1974.
- Костенко Н. П. Геоморфологический анализ новейшего развития складок с большим радиусом кривизны и региональных разломов.— В сб. Активизированные зоны земной коры, новейшие тектонические движения и сейсмичность. М., «Наука», 1964.

- Костенко Н. П., Макаров В. И., Соловьева Л. И.* Новейшая тектоника (Киргизской ССР).— Геология СССР, т. XXV, кн. 2. М., «Недра», 1972.
- Крестников В. И., Пересов П. Л.* Тектоническое строение Памира и Тянь-Шаня и его связь с рельефом поверхности Мохоровичича.— Сов. геология, 1962, № 11.
- Макаров В. И.* Дешифрируемость тектонических структур областей молодого эпиплатформенного горообразования на космических снимках Земли.— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1973, № 7.
- Макаров В. И., Соловьева Л. И.* Неотектонические поперечные структуры Тянь-Шаня и их выражение на космических снимках.— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1975, № 2.
- Макаров В. И., Трифонов В. Г., Шукин Ю. К.* Отражение глубинной структуры складчатых областей на космических снимках.— Геотектоника, 1974, № 3.
- Мартиросян С. В., Сахатов В. З.* Новые данные о структуре Айондзорского района Закавказья.— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 2. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1974.
- Милановский Е. Е.* Новейшая тектоника Кавказа. М., «Недра», 1968.
- Скарягин В. Д.* Геологическая информация с орбиты.— Авиация и космонавтика, 1970, № 11.
- Скарягин В. Д.* Об изучении разрывной тектоники по комплексу разномаштабных космоснимков Земли (метод многоступенчатой генерализации).— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1973, № 7.
- Соловьева Л. И.* Новейшие поперечные структуры Туркестано-Алая и история их развития.— В сб. Ломоносовские чтения и VI научн. отчетн. конференции геологического факультета МГУ. М., Изд-во МГУ, 1971.
- Стрельников С. И., Гусев Н. А., Скублова Н. В.* Результаты геологического и геоморфологического дешифрирования космического фотоснимка Восточного Тянь-Шаня, Джунгарского Алатау и Северного Тарима.— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 1. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1973.
- Таль-Вирский Б. Б.* Тектоника и геофизические поля нефтегазоносных областей центральной части Средней Азии. Автореф. докт. дис. М., Изд-во Моск. Ин-та нефтехим. и газов. пром-сти, 1972.
- Трифонов В. Г., Бызова С. Л., Ведешин Л. А.* и др. Вопросы методики геологического дешифрирования космических изображений Земли.— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 1. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1973.
- Флоренский П. В.* Дешифрирование глубинной структуры и локальных поднятий по космическим снимкам Туранской плиты.— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1973, № 7.
- Шульц С. С.* Анализ новейшей тектоники и рельеф Тянь-Шаня.— Записки Всесоюз. геогр. об-ва, новая сер., т. 3. Л., Изд-во Всесоюз. геогр. об-ва, 1948.
- Шукин Ю. К.* Глубинные сейсмогенные разломы земной коры.— В сб. Сейсмогенная структура и сейсмодислокации. М., ВНИИГеофизика, 1973.
- Lowman P. D.* Photography from space — geologic applications. N.-Y., — Acad. Sci. Ann., 1966, v. 140.
- Lowman P. D.* Geologic orbital photography: experience from Gemini program.— Photogramm. Eng., 1969, v. 24, No. 3—4.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ПРИ ПОИСКАХ НЕФТИ И ГАЗА

Около 60% суши занимают так называемые платформенные области, которые, в отличие от областей активных, складчатых не испытывали значительных движений земной коры в течение последних нескольких сот миллионов лет. Поэтому горные породы, отложившиеся в это спокойное время, залегают почти горизонтально и слабо нарушены разрывами. Этот комплекс пологолежащих пород называется платформенным чехлом.

Даже незначительные изменения состава или структуры коренных пород и уровня грунтовых вод сразу же отражаются в изменении облика приповерхностных горизонтов. Эта особенность лежит в основе построения геологических карт по крупномасштабным аэрофотоснимкам  $M 1:1\,000-1:10\,000$ . Этим же свойством обладают и высотные снимки Земли и снимки Земли из космоса. Таким образом, уточнение ранее построенных карт и экстраполяция наблюдений, сделанных в геологически изученных районах, на менее изученные — один из первых шагов применения снимков Земли из космоса. Наиболее приемлемы для этой цели снимки  $M 1:1\,000\,000$  и крупнее. Обработка космических снимков районов Кара-Богаз-Гола и Мангышлака (Гендлер и др., 1973; Башилова, Махин, Еремин, 1973; Береговой и др., 1972) дала первые геологические карты территории СССР, построенные на таком материале. Наряду с получаемым по аэроснимкам материалом, космические мелкомасштабные снимки несут и принципиально новую информацию, позволяющую рассматривать изучение космических снимков, как новый метод геологического изучения территории (Скарятин, 1970; 1973; Трифонов, Флоренский, 1967; Трифонов и др., 1973).

До сих пор региональные карты строились в разной степени субъективной генерализацией более крупномасштабных карт. Лишь теперь, анализируя мелкомасштабные снимки Земли из космоса, геологи смогли наблюдать тот или иной регион в целом. В отличие от построенных карт, космические фотографии не несут в себе элемента субъективизма и не отражают различия в степени и характере изученности. Это независимый объективный материал, позволяющий извлекать из него разнообразную информацию.

Фотоизображение фиксирует некий интегральный эффект, сумму факторов, отражающих облик территории. Выделить факторы, определяющие особенности фотоизображения от вторичных и совсем не связанных с ним — задача ближайших исследований. Особенно важно изучение связи фотоизображений с глубинным строением платформенных территорий (Макаров и др., 1974; Флорен-

ский, 1973). При этом связь структур на разных уровнях проявляется таким образом, что позволяет говорить о своеобразной «прозрачности» земной коры на значительную глубину. Сопоставляя особенности фотоизображения и строения района, ряд геологов при изучении весьма различных районов пришел к постановке принципиально новой задачи — изучению связи фотоизображения и глубинного строения Земли по космическим снимкам разного масштаба.

В основе геологического, в том числе и структурно-геологического дешифрирования мелкомасштабных снимков поверхности Земли, лежит принцип неразрывной взаимосвязи геологических тел и явлений по вертикали на всех уровнях. Поэтому особенности ландшафта и структуры поверхности Земли отражают в различной степени отдельные черты внутреннего, в том числе и глубинного строения. Эта связь проявляется, в первую очередь, благодаря тому, что новейшие и современные геотектонические движения наследуют общий характер движений, происходивших в течение длительного этапа, поэтому рельеф является основным индикатором для дешифрирования равнинных областей (Мещеряков, 1965).

Поискам связи облика поверхности с глубинным строением посвящен ряд работ геологов-нефтяников — по равнинным областям Туркмении (Мирошниченко и др., 1971), по Туранской плите (Макаров и др., 1974) и по Волго-Уральской области (Бухарцев, 1973).

Помимо рельефа, внутреннее строение района отражают и особенности растительности, связанные с распределением грунтовых и поверхностных вод и целым рядом других факторов.

Одной из самых неожиданных, но, несомненно, имеющих место особенностей является связь глубинной (а не только поверхностной) структуры участков Земли с облачным покровом. На анализируемых снимках помимо чисто геологических образований (различных комплексов отложений, осложняющих их залегание складок, разломов и т. д.), по-разному читаемых на снимках разного масштаба, обращает на себя внимание то, что в разные времена года на них сохраняется относительно постоянный рисунок распределения облаков, которые оконтуривают геологические структуры. Облака вытягиваются полосами разной ширины в одних зонах и вместе с тем постоянно отсутствуют над другими участками. Если в горах такое явление легко объясняется резкими перепадами температуры и аномальными воздушными потоками, то едва ли так же легко объяснить закономерное и постоянное распределение облаков над равнинными Устюртом, Южным Мангышлаком, Каракумами или Кызылкумами. Создается впечатление, что закономерности распределения облаков отражают внутреннюю структуру района. Связь эта проявляется не только там, где эта структура выражена перепадами рельефа, но и над равнинами, и даже иногда распределение облаков более связано с геологиче-

ской структурой участка, нежели с рельефом. Связь зон формирования облаков с геологической структурой и, прежде всего, с разломами отметил в 1933 г. французский геолог Шлюмберже (Мушкетов, 1935): он заметил, что иногда линии систематически возникающих облаков тянутся на десятки километров и пересекают даже геоморфологически разнородные структуры. Так, они пересекают Рейнский грабен, но совпадают с направлением больших разломов Вогез и Шварцвальда. Боровиков и Русинов (1973), развивая эти представления, установили, что молнии чаще ударяют в области скопления руд и в разломы. Подоглежащие отложения платформенного чехла, мощность которых колеблется обычно в пределах 2—4 км, но достигает на отдельных участках 7—8 км, подстилают породы фундамента, резко отличающиеся своей дислоцированностью, смещениями по разломам, внедрившимися в них магматическими горными породами. В зависимости от того, когда завершился такой этап тектонической жизни, выделяют платформы разных возрастов: древние докембрийские (более 500 млн лет) и молодые эппалеозойские (древнее 200 млн лет). Таким образом, главной границей, в которой отражаются основные особенности той или иной платформы, является поверхность фундамента. Именно эта поверхность наиболее выразительно отражает и определяет структуру платформенного чехла: его мощность и степень дислоцированности.

В недрах платформенного чехла содержится много полезных ископаемых. Поиски нефти и газа есть, в первую очередь, задача региональных исследований, охватывающих сразу обширные территории (Бакиров и др., 1970). Поэтому, естественно, что основная заслуга в деле изучения погребенного под осадочным чехлом фундамента платформ принадлежит именно геологам-нефтяникам.

На важность такого подхода указывал академик И. М. Губкин на примере изучения фундамента Волго-Уральской провинции. Позже было проанализировано поведение фундамента во времени (Бакиров, 1957), а также проведено его комплексное геолого-геофизическое изучение (Борисов, 1967; Макаров и др., 1974). Именно на этой территории поставлена и в принципе решена проблема петрографического изучения пород фундамента по керну глубоких скважин с привлечением геофизических материалов, являющаяся в настоящее время одной из важнейших частей комплексного изучения нефтегазоносных территорий (Флоренский и др., 1969).

Накоплен достаточный региональный геолого-геофизический и геологический материал для сопоставления с характером фотоизображения для большинства областей, а для отдельных из них уже сделаны первые схемы дешифрирования космических снимков.

По качеству и информативности имеющиеся снимки Земли из космоса можно разделить на три группы. Наиболее детальные сделаны космонавтами с космических кораблей (негативы М 1:2 000 000—1:500 000) и получены с ЕРТС-1 (телевизионные

многозональные снимки). Телеизображения с более высокой степенью генерализации переданы с метеорологических спутников «Метеор» (негативы М 1: 7 500 000). Наибольшая степень генерализации характерна для телевизионных изображений со спутника «Метеор» (запущенного для изучения природных ресурсов). Эти изображения охватывают сразу пространства от Черного до Аральского и от Белого до Черного морей, а фотографии с «Зонда» — всей Земли в целом (негативы этих снимков М 1: 10 000 000 и мельче). Ниже рассмотрены отдельные участки, расположенные на разных платформах, по которым имеются фотографии и фототелевизионные материалы. Эти районы расположены на молодых Туранской и Западно-Сибирской платформах и на древних — Русской и Восточно-Сибирской. При этом лишь по Туранской плите и отдельным участкам Русской платформы проанализированы изображения с высокой степенью разрешения.

### ТУРАНСКАЯ ПЛИТА

Устьуртско-Мангышлакский район отличается разнообразием структур, сконцентрированных на ограниченном идеально обнаженном участке, и тем, что при почти постоянно безоблачном небе съемку можно вести круглогодично.

Центральный Мангышлак — это обширный вытянутый антиклинорий, в осевой зоне которого обнажены дислоцированные пермотриасовые породы (Князев, Флоренский, 1968), а на крыльях — последовательно выходят на поверхность породы мезо-кайнозоя, образуя один из самых полных его разрезов.

Снимки Мангышлака и Устьурта сделаны с КК «Союз-8» в начале октября 1969 г. космонавтами В. А. Шаталовым и А. С. Елисеевым, а 27—29 сентября 1973 г. — с космического корабля «Союз-12» космонавтами В. Г. Лазаревым и О. Г. Макаровым. Телевизионные изображения этого района многократно передавались со спутников типа «Метеор». Вслед за упомянутыми геологическими картами были сделаны попытки сопоставить характер фотоизображения с уже известной глубинной структурой Мангышлака и Устьурта (Абросимов и др., 1974; Богородский и др., 1973; Князев и др., 1972 и др.).

В основу сопоставления положена карта структуры подошвы юрских отложений, построенная на базе геофизических материалов (Бакиров и др., 1963, 1970; Борисов, 1967 и др.), и карты доюрской поверхности, построенной Н. Я. Куниным, которая несколько дополнена (Флоренский, 1973). Разломы проведены по данным Гаврилова (1975).

На всех снимках в первую очередь читаются линеаменты, частично отождествляемые с разломами, установленными по геолого-геофизическим данным. Они заметны на снимках с высоким разрешением, снятых с кораблей «Союз-9» и «Союз-12». Здесь четко

выделены главные запад-северо-западные разломы, определяющие общую структуру района и осложняющие ее северо-восточные линейные элементы, которые впервые уверенно выявлены лишь на космических снимках. Все разрывы в значительной степени контролируют структуру и положение локальных нефтеносных поднятий. Кроме того, заметны изометрические и овальные фотоаномалии, большинство из которых отождествляется с локальными поднятиями. Последние чаще всего заметны благодаря обращенному рельефу: в их сводах частично или полностью размыты бронирующие сарматские известняки, обнажаются подстилающие глины и образуются впадины, заполненные высолами, соответствующие, например, Узеньской, Тенгинской, Карагининской структурам. Однако среди сходных друг с другом по облику фотоаномалий есть и не отождествленные с какими-либо геологическими образованиями: возможно, они связаны с неустановленными до сих пор локальными поднятиями. Несомненно, проверка их с точки зрения соответствия локальным поднятиям, которые могут содержать месторождения полезных ископаемых, — одна из важных задач. При решении ее следует в каждом отдельном случае анализировать те или иные их особенности — растительный покров, характер почв, грунтовых вод и т. д., что для Устюрта сделали Абросимов с соавторами (1974). Глубинная структура контролирует геофизические — в первую очередь гравитационное и магнитное поля. Артамонов и Исаев (1971) показали, что фотоизображения Устюрта и Мангышлака отображают распределение геофизических полей, которые в свою очередь отражают разломы, состав пород и геологическую структуру района. Отдельные детали структуры Мангышлака, особенно положение крупных разломов, выделяются и на телевизионных изображениях самым неожиданным образом (Макаров и др., 1974). На одном из них, например, видно, что распределение облаков над Южным Мангышлаком не случайно: они довольно точно оконтуривают осевую наиболее погруженную часть Южно-Мангышлакского прогиба; северная граница облаков примерно соответствует Жетыбай-Узеньской ступени, связанной с глубинными разломами, южная может быть соотнесена со склонами Карабогазского свода. Кроме того, размещение облаков контролируется рядом линий северо-западного и северо-восточного направлений, которые соответствуют существующим здесь простираниям в глубинной структуре.

Район залива Кара-Богаз-Гол сфотографирован из космоса неоднократно. Благодаря тому, что изображения эти сделаны в разное время года и разными аппаратами, они дают материал и для сравнительного методического анализа. Полосу снимков, протягивающуюся от Юго-Восточного Кавказа на север Аральского моря и далее в Тургайский прогиб, сделали с борта космического корабля «Союз-9» космонавты А. Г. Николаев и И. В. Севастьянов в начале июля 1970 г. Лучшие из них неоднократно публиковались (Береговой и др., 1972 и др.). Телеизображение этого района пе-

редано также с американского спутника «Нимбус» с высоты 1124 км (Богородский и др., 1973; Кирюхин и др., 1973 и др.). На всех снимках особенно отчетливо читаются разломы. Крупнейшие из них отражают структуру поверхности Моховоричича, а более частные — структуру подошвы платформенного чехла. Залив Кара-Богаз-Гол соответствует крупному сводовому поднятию фундамента, где под юрскими или меловыми образованиями залегают интрузивные и метаморфические разновозрастные (вплоть до докембрия) породы. Контуры залива, соответствующего не прогибу, а эрозивной впадине (Клейнер, 1969), в общем позволяют судить о форме поднятия, а разломы выражены прямолинейными участками берегов, уступами рельефа и контурами залива на разных этапах его усыхания. Часть этих разломов выявлена ранее аэрогеофизическими исследованиями, а часть установлена впервые. На ряде снимков разломы, обрамляющие свод с востока, видны благодаря трассированию их системами облаков. Хорошо заметны зоны северо-восточных и субмеридиональных разломов, дешифрируемых в Западных Каракумах, в частности, разломы, по которым Карашорское поднятие отделено от Верхне-Узбойского прогиба. Аномально темная зона соответствует ядру Туаркырского поднятия. Здесь обнажен пермо-триасовый комплекс, а вокруг обширное поле темных юрских угленосных пород, в которых распознаются отдельные мелкие разрывы и складки.

Территория Каракумов и Южный Устюрт отдешифрированы по телевизионным снимкам. Помимо контуров распространения разновозрастных пород на них дешифрируются (Абросимов и др., 1974) три системы региональных линеаментов — северо-западная, субмеридиональная и северо-восточная (Артамонов и др., 1971). Они образуют три крупные группы разрывов — Туаркырскую, Западно-Каракумскую и Центрально-Каракумскую. Полосы фотоаномалий соответствуют зоне Центрально-Устюртских поднятий — Кокбахты, Шорджа, Айбугир и расположенной немного севернее — Коскала. Отдельные пятна соответствуют локальным поднятиям Шахпахтинской ступени. На фотографиях с космического корабля «Союз-9» Каракумы и Устюрт скрыты облаками, от которых свободно лишь Аральское море и узкие прибрежные зоны. Здесь дешифрируется ряд линеаментов, а на Восточном Устюрте — засоленные озера, отвечающие отдельным структурам.

Северные Кызылкумы и низовья Сырдарьи сфотографировали с «Салюта» космонавты Г. Т. Добровольский, В. Н. Волков и В. И. Пацаев. Этот район, отличающийся от Устюрта тем, что складчатый фундамент здесь залегает неглубоко (0,5—1 км) и часто выходит на поверхность, образуя ряд хребтов запад-северо-западного простирания, перспективен для поисков бокситов и рудных полезных ископаемых. Схему геологического дешифрирования космоснимков построили М. Т. Козицкая и В. В. Козлов (Богородский и др., 1973; Гендлер и др., 1973), а Шульц (1973) наметил ряд округлых сводных поднятий. Здесь читаются выходящие из-под чех-

ла мезо-кайнозойские и четвертичные породы, складчатые сооружения палеозоя (горы Букантау, Тамдытау, Каратау и отроги Улутау). Но наиболее четко, как и на других территориях, здесь читаются разрывные нарушения. Одни из них меридиональные, прослеживающиеся по восточному берегу Аральского моря параллельно Уралу. Другие — субширотные разрывы этой системы совпадают с Сырдарьей. Несколько разрывов ограничивают с севера выходы палеозойских пород в Каракумах. Дешифрируются и менее значительные нарушения.

Общий структурный план Аральского моря и его окрестностей может быть изучен по телевизионным мелкомасштабным изображениям. На одном из них меридиональная полоса облаков трассирует разлом, который прослежен по геофизическим данным от южного окончания Урала на юг — к полуострову Куланды и далее — на о. Возрождения. На этих снимках видно, что Султануиздаг находится на продолжении зоны разломов, протягивающейся отсюда через Центрально-Устюртское поднятие к Мангышлаку. Этой же зоне отвечает и «пережим» берегов Амударьи. К югу от него находятся обширные площади орошаемых земель, а непосредственно перед ним отгибается к юго-западу древнее русло Амударьи — Узбой. По-видимому, поворот Амударьи в сторону Аральского моря или по Узбою в сторону Каспия контролировался не столько обилием воды, сколько периодическими поднятиями и опусканиями, происходящими в этой зоне разломов. Здесь же дешифрируются установленные по геофизике разломы северо-восточного направления. Судя по снимку, они пересекают Амударьинский разлом, выглядящий на снимках второстепенным.

Телевизионной метеорологической съемкой с советских и американских спутников многократно покрыта вся Туранская плита. Разрешающая способность таких изображений невелика, но значительная генерализация изображения позволяет видеть на них наиболее крупные структуры поверхности фундамента, и особенности более глубоких горизонтов вплоть до поверхности Мохоровичича. На западе Туранской плиты глубина залегания поверхности Мохоровичича (Вольвовский и др., 1966) колеблется в пределах 30—35 км, под равнинным Устюртом граница Мохоровичича залегает особенно спокойно. Южнее расположена Центрально-Мангышлакская система дислокаций, отчетливо дешифрируемая на телевизионных снимках. Эта система в значительной мере определяет особенности структуры северо-запада Туранской плиты. Она прослеживается вглубь до границы Мохоровичича, которая опускается здесь глубже 40 км, образуя вытянутый жолоб. Вероятно, он образовался не только в результате ускоренного прогибания и накопления верхнетриасовых осадков, но и в результате сжатия и повторения доюрского разреза, что привело к увеличению его кажущейся вертикальной мощности. Южнее граница Мохоровичича поднимается до 30 км под Карабогазским и Каракумским сводами и до 35 км под Кумсебенским поднятием, но опускает-

ся между ними на 3—5 км. Эти изменения отражают в более высоких горизонтах ряд северо-западных разломов, которые, достигая поверхности, читаются на космических снимках. Таким образом, есть основания видеть на мелкомасштабных изображениях платформенных территорий слабые отражения структуры границы Мохоровичича.

## РУССКАЯ ПЛАТФОРМА

Эталонным участком для изучения связи фотоизображения и глубинной структуры древней докембрийской платформы избран участок, охватывающий пограничные части Саратовской и Воронежской областей; геологически он соответствует восточному склону Воронежского свода и северо-западному борту Прикаспийской впадины. Его телеизображения получены со спутника ЕРТС-1 20 июня и 16 июля 1973 г., выполненные в различных частотах видимого спектра, и позволяют анализировать его с различной степенью разрешения вплоть до весьма высокой. Весь участок пересекает с юго-запада на северо-восток полоса облаков, фиксирующих с одной стороны проходящую здесь резкую климатическую границу, а с другой — северо-восточное простиранье ряда разломов в структуре докембрийского фундамента. Кроме того, на снимке читается субмеридиональная полоса разломов, ограничивающих субмеридиональную ветвь Пачелмского прогиба и менее значительные разрывы северо-западного и северо-восточного простираний. На этом — равнинном и внешне очень однородном — участке детально изучена структура фундамента по керну многочисленных глубоких скважин (на западе участка), результаты исследования которых экстраполированы с учетом изучения геофизических — в основном магнитного и гравитационного полей. Поэтому этот участок оказался весьма удобным для анализа связей фотоизображения и с геофизическими полями, и структурой фундамента, который провел Петренко (Флоренский и др., 1976). Он проанализировал с одной стороны фотоизображения, сделанные в разные дни в различных лучах видимого спектра и с разной степенью контрастности, что позволило объективно выделять фотоаномалии и районировать территорию. С другой стороны, были привлечены гравиметрические и магнитометрические исследования, их пересчеты в разных редукциях, карты поверхности фундамента, его внутренней структуры и состава. Последовательное дифференцированное, а затем комплексное сопоставление этих карт позволило показать, что как гравиметрические, так и магнитные поля с той или иной степенью коррелируются с фотоизображением, причем характер этих связей в разных частях снимка различный. Существенна также связь фотоизображения со структурой поверхности фундамента. Однако наиболее четко характер изображения коррелируется с внутренней структурой и составом фундамента.

Вероятно, геофизические поля отражают лишь ту или иную черту его состава, а фотоизображение — интегральный эффект. Проведенные на этом участке сопоставления позволили уточнить положение большинства разломов, выделенных по геофизическим данным, выявить множество линеаментов, очертить контуры блоков и полей распространения в фундаменте пород различного состава, существенно дополнить общие представления о геологическом строении района.

Анализ телеизображений с высокой степенью генерализации, переданных с метеорологического спутника «Метеор», был положен в основу ряда работ по уточнению структуры Русской, Западно-Сибирской и Восточно-Сибирской платформ. Эти исследования, поставленные Башиловой и Махиным (Башилова и др., 1972, 1973), охватывают практически все платформенные территории Союза и базируются на обработке сотен и тысяч телеизображений. Они впервые установили, что даже на телеизображениях качество которых очень низко, а степень генерализации высока, несмотря на то, что цель их съемки — лишь получение экспресс-информации об облачности, можно выделить и классифицировать разломы и уточнить региональные структурно-тектонические карты. Сейчас эти снимки используются для построения карты разломов СССР. Следует отметить, что при этих работах авторы не задавались целью отождествить те или иные структуры с формами рельефа: они картировали лишь характер фотоаномалий. Такой, крайне формализованный, подход представляется допустимым: при анализе космических снимков, особенно мелкомасштабных, видно, что для их дешифрирования далеко не всегда пригодны существующие классификации форм рельефа: одни из них не видны, а другие, особенно на однородных территориях пустынь или в тайге, распадаются на несколько подтипов, слабо различимых при наземных исследованиях, но существенно отличающихся по фототону. Отдельно изучены мелкомасштабные снимки юга Восточно-Сибирской платформы (Флоренская, 1976) и ее западной приенисейской части (Астахов, Еременко, 1974). Эти сплошь закрытые тайгой районы весьма однородны даже на аэроснимках. Их мелкомасштабные снимки тем не менее оказались весьма информативными. Помимо читающейся на них сетки разломов, удалось построить схему блоков, лишь часть из которых выделялась ранее по геолого-геофизическим материалам. Особенно перспективны для дешифрирования таежных районов снимки, сделанные весной или осенью, когда неравномерное распределение снежного покрова делает фотоизображения особенно контрастными.

Но космические снимки применимы и для описания подводной структуры неглубоких бассейнов. Так, например, на снимках с космического корабля «Союз-12» просвечивает из-под воды характер рассеяния мутевых потоков и частично структура дна мелководной северо-восточной части Каспийского моря. А так как, благодаря отсутствию эрозии, эта структура является прямым отра-

жением неотектонической структуры, которая, в свою очередь, наследует здесь глубинное строение, то в таких случаях особенно удобно ставить прямые поиски локальных структур по космическим снимкам.

Итак, на космических снимках платформенных областей сквозь мощный чехол пологолежащих пород «просвечивает» глубинная структура. Связь последней с фотоизображениями оказывается весьма значительной. Некоторые из ее проявлений пока мало понятны, а другие, как, например, закономерное распределение облачного покрова, не имеют достаточно обоснованного объяснения. По-видимому, глубинная структура запечатлевается в ландшафте и, следовательно, на всех уровнях и, в частности, космических снимках, потому что проявляется в тех или иных образованиях новейшего этапа развития плиты, прежде всего — в новейшей тектонике.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Абросимов И. К., Богородский С. М., Востокова Е. А.* Ландшафтные взаимосвязи и их использование при дешифрировании материалов аэро- и космических съемок для изучения глубинного строения Западной части Туранской плиты.— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 2. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1974.
- Артамонов М. А., Исаев Е. Н.* Геофизическая информативность космических снимков полуострова Мангышлак.— ДАН СССР, 1971, т. 199, № 1.
- Артамонов М. А., Исаев Е. Н., Яковлев Н. А.* Геолого-геофизическое использование фотоаномалий разновысотных аэро- и космических снимков.— Сов. геология, 1971, № 9.
- Астахов В. И., Еременко В. Я.* Геологическая информативность телевизионных космических снимков закрытых районов (на примере Приенисейской Сибири).— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 2. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1974.
- Бакиров А. А.* Современные представления о геологическом строении кристаллического фундамента Русской платформы.— Тр. Акад. нефт. пром-сти, вып. 1. М., Гостоптехиздат, 1957.
- Бакиров А. А., Князев В. С., Флоренский П. В.* и др. Закономерности размещения скоплений нефти и газа эпигердинской платформы юга СССР, т. 1. Средняя Азия. М., Гостоптехиздат, 1963.
- Бакиров А. А., Гаврилов В. П., Князев В. С.* и др. Фундамент, основные разломы Туранской плиты в связи с ее нефтегазоносностью. М., «Недра», 1970.
- Башилова И. И., Еремин В. К., Махин Г. В.* Некоторые результаты применения телевизионных изображений Земли, сделанных из ближнего космоса, для изучения региональных геологических структур.— Сов. геология, 1972, № 1.
- Башилова И. И., Еремин В. К., Махин Г. В.* Космические телевизионные снимки как средство тектонического районирования крупных территорий и прогнозирования полезных ископаемых. (На примере Западно-Сибирской плиты и прилегающих районов).— В сб. Исследования природной среды космическими средствами, т. 1. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1973.
- Башилова И. И., Махин Г. В., Еремин В. К.* Исследования космических телевизионных снимков — средство тектонического районирования.— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1973, № 7.

- Береговой Г. Т., Бузников А. А., Васильев О. Б.* и др. Исследования природной среды с пилотируемых орбитальных станций. М., Гидрометеопиздат, 1972.
- Богородский С. М., Гаврилов В. П., Кирюхин Л. Г.* и др. Строение Туранской плиты по данным комплексной интерпретации геолого-геофизических и космогеологических исследований (в связи с перспективами нефтегазоносности).— Геология и разведка, 1973, № 7.
- Борисов А. А.* Глубинная структура территории СССР по геофизическим данным. М., «Недра», 1967.
- Боровиков Д. И., Русинов Б. Ш.* Грозы и тектоника.— Природа, 1973, № 1.
- Бузарцев В. П.* Геологические предсказания вероятностного прогноза нефтегазоносных зон по локальной расчлененности поверхностного рельефа платформенных территорий.— В сб. Математика, ЭВМ и геология нефти и газа. М., Изд-во Ин-та геол. и разраб. горюч. ископ. (ИГ и РГИ), 1973.
- Вольвовский И. С., Гарецкий Р. Г., Шлезингер А. Е., Шрайбман В. И.* Тектоника Туранской плиты.— Тр. Геол. ин-та АН СССР (ГИН), вып. 165. М., «Наука», 1966.
- Гаврилов В. П.* Влияние разломов на формирование зон нефтегазоаккумуляции. М., «Недра», 1975.
- Гарецкий Р. Г., Самодуров В. И., Шлезингер А. Е., Яншин А. Л.* Тектоника платформенного чехла Туранской плиты.— В сб. Проблемы региональной тектоники Евразии. Тр. ГИН, вып. 92. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Гейдлер В. Е., Канфель О. М., Козицкая М. Т.* и др. Некоторые результаты работ по геологическому дешифрированию фотоснимков, сделанных с пилотируемых космических кораблей.— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 1. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1973.
- Кирюхин Л. Г., Кулаков В. А., Сапожников Р. Б., Шебуева И. Н.* О взаимосвязи между разломами фундамента и платформенными локальными поднятиями Устюрта.— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1973, № 1.
- Клейнер Ю. М.* О происхождении впадины Кара-Богаз-Гол.— Бюлл. Моск. об-ва испытателей природы (МОИП), отд. геол., 1969, т. 44, вып. 3.
- Князев В. С., Флоренский П. В.* О цикличном развитии Мангышлака, Устюрта и соседних районов в пермское и триасовое время.— Бюлл. МОИП, отд. геол., 1968, т. 43, вып. 3.
- Князев В. С., Флоренский П. В.* и др. Строение и состав фундамента и пермотриасового комплекса Туранской плиты.— В сб. Строение молодых платформ. М., «Наука», 1972.
- Макаров В. И., Скобелев С. Ф., Трифонов В. Г.*, и др. Глубинная структура земной коры на космических изображениях.— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 2. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1974.
- Мещеряков Ю. А.* Структурная геоморфология равнинных стран. М., «Наука», 1965.
- Мирошниченко В. П., Березкина Л. И., Леоньева Е. В., Толчельников Ю. С.* Ландшафтный метод дешифрирования проявления новейшей и современной тектоники для поисков погребенных нефтегазоносных структур. Л., «Наука», 1971.
- Мушкегов И. В., Мушкегов Д. И.* Физическая геология. Л., ОНТИ, 1935.
- Скарягин В. Д.* Космоснимки на службе геологии.— Природа, 1970, № 3.
- Скарягин В. Д.* Об изучении разрывной тектоники по комплексу разномасштабных космоснимков Земли. (Метод многоступенчатой генерализации).— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1973, № 7.
- Трифонов В. Г.* О разработке методики геологического дешифрирования космических изображений Земли.— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1973, № 7.
- Трифонов В. Г., Флоренский П. В.* Геолог ангажирует космовидение.— Радио и телевидение, 1967, № 36.
- Трифонов В. Г., Бызова С. Л., Ведешин Л. А.* и др. Вопросы методики геологического дешифрирования космических изображений Земли.— В сб.

- Исследование природной среды космическими средствами, т. 4. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1973.
- Трофимов В. Д.* Использование космических снимков для изучения тектоники Сахарской плиты.— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1973, № 7.
- Флоренская Т. В.* Соотношения геофизических полей и космического изображения в южной части Сибирской платформы.— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 5. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1976.
- Флоренский В. П., Лапинская Т. А., Князев В. С.* Некоторые итоги петрографического изучения кристаллического фундамента Волго-Уральской нефтеносной области.— Тр. Моск. ин-та нефтехим. и газов. пром. (МИНХиГП), вып. 26. М., Гостехиздат, 1969.
- Флоренский П. В.* Дешифрирование глубинной структуры Туранской плиты по космическим снимкам в связи с поисками месторождений нефти и газа.— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1973, № 7.
- Флоренский П. В., Петренко А. С., Шорин-Константинов Б. П.* Место космического изображения при комплексной обработке геолого-геофизической информации для изучения глубинного строения Нижнего Поволжья.— В сб. Исследование природной среды космическими средствами, т. 5. Геология и геоморфология. М., ВИНТИ, 1976.
- Шульц С. С. (мл.)* Концентрические сводовые структуры восточной части Туранской плиты по космическим снимкам.— Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1973, № 7.

\*

# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3:
-----------------------	----

## АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ СЪЕМКА И ПРОБЛЕМЫ ГЕОГРАФИИ

С. В. Зонн. Проблемы географии и перспективы их решения аэрокосмическими методами . . . . .	5.
Ю. Ф. Книжников, В. П. Кравцова. Исследование Земли из космоса (современное состояние) . . . . .	11
Т. В. Котова, В. П. Кравцова, Л. Ф. Январева. Проблемы тематического картографирования и использование космических снимков . . . . .	32:
Ю. Г. Кельнер, Г. Н. Романкевич. Использование материалов космической съемки для создания и обновления общегеографических и тематических карт . . . . .	41
В. П. Кравцова, С. Ю. Антонова. Опыт и перспективы применения многозональной космической съемки в географических исследованиях и тематическом картографировании . . . . .	47
В. Л. Андроников. Изучение почвенных и сельскохозяйственных ресурсов Земли с использованием аэрокосмических средств . . . . .	67
С. Г. Синицын, В. П. Суших. Использование материалов многозональных и космических съемок в интересах лесного хозяйства . . . . .	86
А. С. Исаев, Д. М. Киреев. Принципы и методы изучения лесов из космоса . . . . .	101
Г. С. Елесин. Вопросы дистанционного изучения земельных ресурсов и сельскохозяйственных культур . . . . .	106
Н. Н. Головина, В. В. Горбачев, А. В. Журов, А. П. Лавров, А. Г. Николаев, Н. А. Романова, Ф. Н. Чалидзе, Д. Е. Минский. Применение методов аэрокосмических измерений для изучения мелиорируемых земель . . . . .	113
А. Н. Цой. Модели мелиоративных систем и аэрокосмическая информация . . . . .	127
<u>Г. П. Калинин.</u> Водные проблемы и перспективы их решения по материалам аэрокосмических съемок . . . . .	130
К. Н. Федоров, В. С. Скляр. Перспективы исследования океана с помощью ИСЗ . . . . .	159
П. А. Моисеев. Проблемы рыбного хозяйства и перспективы их решения с помощью средств космической техники . . . . .	173
Ю. В. Курилова, П. А. Колосов, Л. К. Поплавская, Ю. С. Соколов. Методики дешифрирования спутниковой информации на примере исследования снежного покрова . . . . .	176
Ал. А. Григорьев. Космическая индикация антропогенных изменений окружающей среды . . . . .	192
П. А. Жакович. Использование материалов многозональных космических съемок в интересах гидрометеорологической службы . . . . .	206

<i>Л. М. Магиясевич.</i> Атмосферные помехи наблюдению Земли с помощью космических средств, работающих в оптическом диапазоне длин волн . . . . .	209
<i>И. А. Некрасов.</i> Перспективы использования аэрокосмических методов в геокриологии . . . . .	224
<i>С. А. Саркисян, Э. С. Минаев, С. С. Корунев, А. Г. Гуров.</i> Оценка экономической эффективности использования космических систем дистанционной индикации природных ресурсов . . . . .	234

## КОСМИЧЕСКАЯ СЪЕМКА И ЗАДАЧИ ГЕОЛОГИИ

<i>А. В. Пейве, В. Г. Трифонов.</i> Основные направления геологических исследований, осуществляемых с помощью средств космической техники . . . . .	247
<i>В. Н. Брюханов, В. К. Еремин, В. И. Макаров, Г. В. Махин, Б. Н. Можаяев, В. Г. Трифонов, П. В. Флоренский.</i> Применение материалов космических съемок для решения теоретических и практических задач геологии . . . . .	251
<i>В. К. Еремин, М. А. Артамонов, С. М. Богородский, В. Н. Брюханов, Е. А. Востокова, М. Т. Козицкая, С. Ф. Скобелев, Л. И. Соловьева.</i> Использование космических снимков для региональных геологических исследований . . . . .	262
<i>В. И. Макаров, В. Г. Трифонов.</i> О возможности использования материалов космической съемки для изучения глубинного строения земной коры . . . . .	275
<i>П. В. Флоренский.</i> Использование космических съемок при поисках нефти и газа . . . . .	286

## АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Утверждено к печати*

*Институтом космических исследований АН СССР*

*Редактор М. И. Штерн. Редактор издательства Б. С. Шохет*

*Художник Е. К. Самойлов. Художественный редактор И. К. Каприлова*

*Технический редактор Л. В. Каскова*

*Корректоры Р. П. Шабалева, Т. Д. Хорькова*

ИБ № 6114

Сдано в набор 09.06.78. Подписано к печати 22.12.78. Т-22329. Формат 60×90<sup>1/16</sup>.  
 Бумага типографская № 1. Гарнитура обыкновенная. Печать высокая.  
 Усл. печ. л. 19,3. Уч.-изд. л. 21,5. Тираж 1500 экз. Тип. зак. 696. Цена 2 р. 40 к.

Издательство «Наука» 117485, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 94а

2-я типография издательства «Наука» 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 16

УДК 528.7:91

**Проблемы географии и перспективы их решения аэрокосмическими методами.** Зонн С. В. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Рассматриваются основные проблемы современной географии, решаемые с помощью аэрокосмических методов. Анализируются достоинства дистанционных методов изучения Земли, обеспечивающих получение информации о состоянии воспроизводимых ресурсов, о динамике распределения этих ресурсов и продуцировании ими необходимых продуктов питания и промышленного сырья.

УДК 629.7:525

**Исследование Земли из космоса.** Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Рассмотрены современные тенденции в применении космических средств для изучения природных ресурсов на основе обзора работ (главным образом, советских и американских), относящихся к 1973—1975 годам.

Библ. 46 назв.

УДК 528.91:629.78

**Проблемы тематического картографирования и использование космических снимков.** Котова Т. В., Кравцова В. И., Январева Л. Ф. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Приводятся требования к материалам съемок с точки зрения географической информативности. Анализируются особенности проявления оптической генерализации на космических снимках и ее влияния на возможность составления тематических карт. Приводятся принципы использования космических материалов при создании тематических карт и их обновлении.

Библ. 13 назв.

УДК 528.9:528.7

**Использование материалов космической съемки для создания и обновления общегеографических и тематических карт.** Кельнер Ю. Г., Романкевич Г. Н. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Рассматриваются возможности использования материалов космических съемок для создания и обновления общегеографических (в частности, топографических) карт, карт природных условий, некоторых специальных и социально-экономических карт. Формулируются требования к очередности и срокам обновления топографических карт. Приводятся технологические схемы картографической обработки космической информации.

Табл. 1.

УДК 528.91:629.78

**Опыт и перспективы применения многозональной космической съемки в географических исследованиях и тематическом картографировании.** Кравцова В. И., Антонова С. Ю. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

На основе опыта использования материалов многозональной космической съемки оцениваются перспективы применения этого нового метода съемки. Приводятся примеры изучения засоления почв в аридных районах, выявления глубин и мутности вод мелководных водоемов и т. д.

Ил. 10, табл. 1, библ. 8 назв.

УДК 631.1:629.78

**Изучение почвенных и сельскохозяйственных ресурсов Земли с использованием аэрокосмических средств.** Андроников В. Л. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Для изучения почв и посевов эффективно использование многозональной и инфракрасной аэро- и космической съемки. Рассмотрены возможности многоспектральной аэро- и космической съемки, инфракрасной тепловой, инфракрасной радиотепловой и радарной съемки почвенного покрова и посевов сельскохозяйственных культур.

Ил. 1, табл. 1, библ. 62 назв.

УДК 581.526.42:629.78

**Использование материалов многозональных и космических съемок в интересах лесного хозяйства.** Синицын С. Г., Сухих В. И. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Рассматривается технологическая схема инвентаризации лесных территорий на основе анализа материалов многослойных съемок различного масштаба. Определен круг первоочередных задач для машинного дешифрирования фотоснимков леса. Указаны пути развития и дальнейшего совершенствования методики экспериментальных съемок лесов, обработки и анализа получаемых материалов.

Библ. 15 назв.

УДК 581.526.42:629.78

**Принципы и методы изучения лесов из космоса.** Исаев А. С., Киреев Д. М. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Освещаются и обосновываются задачи изучения состояния лесов дистанционным методом с помощью космических средств.

УДК 631.1:629.78

**Вопросы дистанционного изучения земельных ресурсов и сельскохозяйственных культур.** Елесин Г. С. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Даны перспективы дистанционного изучения земельных ресурсов и наблюдений за состоянием сельскохозяйственных культур с применением многозональной аэро- и космической съемок. Обосновывается направленность дальнейших научных работ, необходимых для широкого внедрения многозональной аэро- и космической съемок в практику.

УДК 629.78:626.87

**Применение методов аэрокосмических измерений для изучения мелнируемых земель.** Головина Н. Н., Горбачев В. В., Журов А. В., Лавров А. И., Николаев А. Г., Романова Н. А., Чалидзе Ф. Н., Минский Д. Е. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Обрисован круг задач, требующих привлечения дистанционных методов, сформулированы требования к измерительным средствам. Рассмотрена задача количественной оценки элементов водно-солевого режима мелнируемых земель. Показаны особенности наземного измерительного обеспечения при подспутниковых и подсамолетных экспериментах.

Ил. 5, табл. 1, библ. 7 назв.

УДК 629.78:626.87

**Модели мелниративных систем и аэрокосмическая информация.** Цой А. П. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли», М., «Наука», 1979.

Рассматривается возможность применения аэрокосмической информации для осреднения данных наземных точечных измерений и параметров, изучение которых наземными средствами на больших площадях технически затруднительно.

Ил. 1, библ. 2 назв.

УДК 528.7

**Водные проблемы и перспективы их решения по материалам аэрокосмических съемок.** Калинин Г. П. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Формулируются основные проблемы водного хозяйства на современном этапе. По результатам обработки аэрокосмических снимков делается попытка создания новой, более точной методики составления прогнозов стока воды при всевозможных гидрологических явлениях и особенно наводнениях. Предлагаются методы определения переходных функций от площади затопления и протяженности притоков к расчету и прогнозу гидрографа и объема стока. Определяются возможности прогноза весеннего половодья по дистанционным наблюдениям за снежным покровом и влажностью почв.

Табл. 2.

УДК 551.46:629.7

**Перспективы исследования океана с помощью ИСЗ.** Федоров К. Н., Скляр В. Е. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Рассматриваются вопросы исследования физических параметров океана с помощью средств космической техники. Приводится перечень наиболее актуальных направлений и задач космической океанологии. Анализируются методы интерпретации дистанционных измерений поля температур, представляющие одну из важнейших и первоочередных задач.

Ил. 5, библ. 3 назв.

УДК 626.88:629.78

**Проблемы рыбного хозяйства и перспективы их решения с помощью средств космической техники.** Моисеев П. А. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Оценивается современное состояние исследований и освоения биологических ресурсов Мирового океана. Рассматриваются возможности изучения из космоса глобальных процессов, проходящих в океане. Анализируются пути повышения результативности работы рыбопромысловых судов и экономии средств при использовании данных съемки океана из космоса.

УДК 629.78:525

**Методики дешифрирования спутниковой информации на примере исследования снежного покрова.** Курилова Ю. В., Колосов П. А., Поплавская Л. К., Соколов Ю. С. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Рассматриваются методики опознавания и дешифрирования снежного покрова по данным телевизионных и инфракрасных изображений с метеорологических спутников. Проведена классификация текстур изображений снежного покрова в разных ландшафтных условиях и для разных стадий снеготаяния. Описаны методы, позволяющие проследить динамику таяния снежного покрова.

Ил. 3, табл. 3, библ. 6 назв.

УДК 629.7:058

**Космическая индикация антропогенных изменений окружающей среды.** Григорьев Ал. А. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Исследуются загрязнения среды и акваторий, колебания уровня водных бассейнов, антропогенные изменения ландшафтов, изменения влажности почв. Даются перспективы использования космических методов исследований для изучения динамики и ритмики антропогенных образований.

Ил. 6, библ. 19 назв.

УДК 528.7.629.78:551.5

**Использование материалов многозональных космических съемок в интересах гидрометеорологической службы.** Жакович И. А. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Излагается методика использования материалов космических съемок в анализе и прогнозе гидрометеорологической обстановки.

УДК 525:629.7

**Атмосферные помехи наблюдению Земли с помощью космических средств, работающих в оптическом диапазоне длины волны.** Матиясевич Л. М. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Производится количественная оценка влияния фотограмметрической рефракции, турбулентности атмосферы и воздушной дымки на возможность наблюдения земных объектов из космоса. Показано, что первые два фактора практически не ограничивают, а воздушная дымка существенно снижает информационные возможности космических видеосредств.

Ил. 4, табл. 4, библ. 31 назв.

УДК 551.345:629.7

**Перспективы использования аэрокосмических методов в геокриологии.** Некрасов И. А. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Рассмотрены возможности применения многозонального фотографирования, телевизионных съемок, инфракрасных съемок, радиолокации, спектрофотометрии для геокриологических исследований.

Библ. 42 назв.

УДК 629.7:058

**Оценка экономической эффективности использования космических систем дистанционной индикации природных ресурсов.** Саркисян С. А., Минаев Э. С., Корунов С. С., Гуров А. Г. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Рассматриваются проблемы прогнозирования затрат на создание и эксплуатацию космических систем дистанционного изучения природной среды и принципы прогнозирования экономической эффективности исследуемых систем. Оценивается экономическая эффективность конкретных систем дистанционного изучения природных ресурсов.

Ил. 4, библ. 6 назв.

УДК 55:629.78

**Основные направления геологических исследований, осуществляемых с помощью средств космической техники.** Пейве А. В., Трифонов В. Г. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Приводятся конкретные задачи, решаемые с помощью космических снимков. Анализируются результаты дешифрирования космических снимков и перспективы их применения для решения проблем геологии.

УДК 528:55

**Применение материалов космических съемок для решения теоретических и практических задач геологии.** Брюханов В. Н., Еремин В. К., Макаров В. И., Махин Г. В., Можаяев Б. Н., Трифонов В. Г., Флоренский П. В. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Рассматривается использование космических снимков при изучении пространственных закономерностей тектогенеза и структурной эволюции земной коры.

Библ. 25 назв.

УДК 528:55

**Использование космических снимков для региональных геологических исследований.** Еремин В. К., Артамонов М. А., Богородский С. М., Брюханов В. Н., Востокова Е. А., Козицкая М. Т., Скобелев С. Ф., Соловьева Л. И. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Освещаются вопросы определения структурно-тектонических элементов. Раскрывается значимость использования космических снимков для региональных металлогенических построений и составления прогнозных карт.

Ил. 3, библ. 14 назв.

УДК 528.7:55

**О возможности использования материалов космической съемки для изучения глубинного строения земной коры.** Макаров В. И., Трифонов В. Г. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

На примере горно-складчатых областей Кавказа и Средней Азии показывается, что космические снимки дают реальную возможность распознавать глубинные структурные образования. Показывается, что для сопоставления структуры различных горизонтов земной коры и интерпретации геофизических данных необходимо использовать и сравнивать космические изображения разного масштаба.

**Использование космических съемок при поисках нефти и газа.** Флоренский П. В. Сб. «Аэрокосмические исследования Земли». М., «Наука», 1979.

Показывается на примерах, что на космических снимках плит дешифрируется структура поверхности фундамента. На снимках выявляются аномалии, часть которых отождествляется с известными локальными структурами, содержащими полезные ископаемые или признанными перспективными для поисков.

Библ. 38 назв.

5386

В 1976 г. в издательстве  
«Наука» вышел сборник  
«Космические исследования  
земных ресурсов»  
с материалами  
1-й Всесоюзной научной  
школы-семинара  
по исследованиям Земли  
из космоса (г. Звенигород,  
1975 г.).

Настоящий сборник  
содержит вторую часть  
материалов  
школы-семинара.

В статьях отражены  
вопросы,  
относящиеся в основном  
к географии и геологии,  
а также касающиеся других  
отраслей науки  
и народного хозяйства.

Цена 2 р. 40 к.