

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.44:550.814

А. Г. ЧИКИШЕВ**ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОМЕТОДОВ В КАРСТВЕДЕНИИ**

В статье рассматриваются вопросы применения аэрометодов при проведении комплексных карстоведческих исследований. Выделяются и анализируются методы дешифрирования аэрофотоснимков, аэровизуальных наблюдений и специального аэрофотографирования. Дается систематизация признаков дешифрирования особенностей распространения карста и условий карстообразования.

В комплексе исследований карстового рельефа важное место занимают аэрофотосъемка и аэровизуальные наблюдения. Применение аэрофотоматериалов и предварительный облет региона дают возможность получить наиболее полную информацию о степени закарстованности территории, морфологических особенностях карстовых образований и гидрологических условиях формирования карста. Аэрометоды повышают эффективность и достоверность комплексных карстоведческих исследований, создают условия для широкого обзора местности, сокращают сеть полевых маршрутов, обеспечивают высокую точность и детальность картирования.

Несмотря на важность и эффективность аэрометодов, вопросы их применения в карстведении не получили пока широкого освещения в специальной литературе. Они рассмотрены лишь в работах Л. А. Шимановского (1961), Г. К. Михайлова (1964), В. Н. Кирюшина, З. А. Багровой, И. П. Стариченкова (1967), У. Каразевской (Karaszewska, 1970), Е. И. Вохмяниной и др. (1971).

Аэрометоды подразделяются на дешифрирование аэрофотоматериалов, аэровизуальные наблюдения и специальное аэрофотографирование.

Дешифрирование аэрофотоснимков. Аэрофотоматериалы при изучении карста нередко используются лишь как плановая основа. Между тем особый интерес они представляют для дешифрирования, позволяющего получать ценную и разностороннюю информацию об особенностях распространения карста и условиях его развития. Карстоведческое дешифрирование относится к одному из видов специального дешифрирования. Ландшафтно-индикационный подход к дешифрированию аэрофотоснимков, основанный на учете взаимосвязей между отдельными компонентами ландшафта, позволяет с наибольшей полнотой и детальностью изучать морфологические, типологические и динамические закономерности карста.

Камеральное дешифрирование проводится по дешифровочным признакам, к которым относятся любые свойства, опознаваемые на снимке и принадлежащие какому-либо карстовому явлению или процессу или не принадлежащие им, но позволяющие их индифицировать. Дешифровочные признаки условно подразделяются на прямые (цвет, фототон, конфи-

гурация, рисунок) и косвенные (тип рельефа, строение гидрографической сети, характер растительности и т. д.). Косвенные или индикационные признаки, основанные на закономерных связях между отдельными компонентами ландшафта (Чижишев, 1970), более разнообразны и могут выступать в различных сочетаниях. Дешифровочные признаки не универсальны, они изменяются при изменении физико-географических условий, что определяет дифференцированный подход к разработке и применению аэрометодов в различных геоструктурных и природных зонах (Мирошниченко, 1966). Опознаваемые на аэроснимках объекты наносятся на аналитические и синтетические карстоведческие карты соответствующими условными знаками. При полевом дешифрировании предметы, имеющиеся на снимке, непосредственно сличаются с предметами на местности, при этом уточняются дешифровочные признаки.

Объем, состав и содержание информации определяются так называемой дешифрируемостью аэроснимков, под которой понимают сумму свойств аэроснимков, обуславливающих количество информации, получаемой при дешифрировании аэроснимков для решения поставленной конкретной задачи (Смирнов, 1968). Дешифрируемость аэроснимков зависит от физико-географических особенностей территории, целей дешифрирования, масштаба аэрофотоснимков, времени проведения съемки, типа фотопленки и других факторов. Так, например, объем информации при геологическом дешифрировании составляет, по данным Л. Е. Смирнова (1968), примерно 40—60% от общего объема информации об особенностях геологического строения поверхности, получаемой разными методами исследования.

Современные стереофотограмметрические приборы и методы открывают широкие возможности для качественного и количественного дешифрирования аэроснимков, позволяющего камеральным путем получать данные о размерах, глубине, крутизне склона и других параметрах карстовых форм (Асоян, 1970).

Перед комплексным карстоведческим дешифрированием стоят две главные задачи: дешифрирование основных условий развития карста и дешифрирование карстовых образований.

Дешифрирование условий карстообразования. Развитие карстовых процессов определяется сложным комплексом природных факторов, которые могут быть в значительной мере выявлены при дешифрировании аэрофотоснимков (Максимович, 1956). К основным условиям карстообразования относятся: наличие растворимых горных пород, их водопроницаемость и движущиеся воды. В этой связи дешифрирование литологического состава и трещиноватости горных пород, а также гидрологических и гидрогеологических условий имеет важное значение для оценки интенсивности карстовых процессов.

Дешифрирование карстующихся горных пород. Дешифрирование карбонатных и галогенных пород представляет важную задачу комплексного карстоведческого дешифрирования, поскольку особенности развития карста определяются площадью распространения и составом карстующихся образований.

Для карбонатных пород (известняков, доломитов, мела) характерен обычно светлый фототон обнажений и элювиальных россыпей, что резко отличает их по цвету от окружающих толщ (рис.). Однако чаще всего они дешифрируются по косвенным признакам и прежде всего по особенностям рельефа, поскольку на различных горных породах формируются определенные типы рельефа со специфическими формами эрозионного расчленения. В равнинных условиях районы распространения карбонатных пород отличаются сравнительно слабой расчлененностью и развитием преимущественно глубоких каньонообразных долин, отличающихся прямолинейностью участков и резкими коленчатыми изломами в плане, что хорошо прослеживается на стереоскопической модели местности.

При горизонтальном залегании пластов, особенно при чередовании в карбонатной толще прослоев менее устойчивых пород, для фотоизображения характерна полосчатость. В пределах плоскогорий, расчлененных речными долинами, площади развития карбонатных отложений характеризуются обычно волнистым рельефом, иногда со ступенчатыми склонами (Гогина, 1959). В низкогорных сильноденудированных областях (например, Урал) на участках распространения карбонатных пород формируется сглаженный рельеф с глубоко врезаемыми меандрами рек. Для высокогорных территорий, сложенных известняками и доломитами, характерен резко расчлененный, крутосклонный рельеф с глубоко врезаемой речной сетью, приуроченной к различным системам тектонической трещиноватости (Гвоздецкий, 1954; Гвоздецкий, Чалай, 1970). В молодых горных областях, отличающихся сухим климатом, для мощных карбонатных толщ характерны острые останцовые толщи (Козицкая, 1964).

В тесной связи с типом рельефа, определяемым в значительной мере расчлененностью территории, находятся особенности гидрографической сети, выступающие надежным литоиндикационным признаком в условиях слабой обнаженности пород. В горах карбонатные породы хорошо дешифрируются на аэрофотоснимках по разреженному, ломаному рисунку гидрографической сети.



Среднегорье сложенное карбонатными породами. Для выходов известняков и элювиальных россыпей характерен светлый фототон

Важным косвенным признаком является также растительность, чутко реагирующая на физические и химические свойства горных пород. На ней с большой достоверностью выявляются границы между карбонатными породами и другими литологическими разностями, поскольку растительный покров на известняках и доломитах отличается ярко выраженным физиономичным и флористическим своеобразием. Прежде всего древостой на карбонатных отложениях в результате крайней сухости субстрата и вредного действия избытка кальция обычно более разрежен и угнетен, чем на соседних участках, сложенных иными образованиями. Эти различия хорошо выражены на аэрофотоснимках, что позволяет использовать их как дешифровочный признак известняков (Гогина, 1959; Загребина, 1964).

Галогенные породы — гипсы, ангидриты, соли — часто хорошо дешифрируются по светлому фототону и широкому развитию карстовых форм (Козицкая, 1964). Особенно хорошо выявляются солянокупольные структуры, которым соответствует или положительная форма рельефа, или относительно приподнятый, значительно расчлененный участок, состоящий из ряда возвышенностей и понижений. Возвышенности формируются преимущественно на крыльях куполов в местах выхода более устойчивых пород. Они обычно имеют вид куэстовых гряд, хорошо опознаваемых на аэроснимках (Аристархова, 1956). Сводовым и присводовым частям солянокупольных структур часто соответствуют участки более густого

ветвления рек, радиальный рисунок гидросети и подпруживание потоков. Надежным признаком галогенных пород являются карстовые формы, имеющие нередко широкое распространение.

Растительность, развивающаяся на галогенных породах, резко отличается от растительности карбонатных и других образований как в видовом отношении, так и по экологическим особенностям, что создает основу для дешифрирования интенсивно карстующихся сульфатных и галоидных пород. Однако системы дешифровочных признаков выявления этих толщ в настоящее время еще не имеется. На обнажениях гипса растительность отсутствует. Галоидные породы, особенно неглубоко залегающие соляные купола, хорошо опознаются по галофитной растительности (Швырева, 1964).

Дешифрирование трещиноватости горных пород. Трещиноватость горных пород, определяющая их водопроницаемость, является одним из основных условий развития карста (Соколов, 1962). При дешифрировании аэрофотоснимков чаще всего приходится иметь дело с тектоническими трещинами и разрывными нарушениями, которые выявляются на аэрофотоснимках по прямолинейным элементам рельефа, а также по различным другим ландшафтно-индикационным (гидрографическим, геоботаническим) признакам.

Дешифрирование гидрогеологических условий. Особенности распространения и режима поверхностных и подземных вод, относящиеся к основным условиям развития карста, могут дешифрироваться на аэроснимках по растительности. В аридных областях, например, участки с близким залеганием грунтовых вод выделяются на аэрофотоснимках по гидрофитной и фреатофитной растительности (Викторов, 1955). Места разгрузки подземных вод дешифрируются по более темному тону увлажненных пород и наличию зачаточной эрозионной сети.

Дешифрирование карстовых форм и процессов. При карстоведческом дешифрировании, основанном на анализе стереомодели, выделяются типы карста, отдельные формы и их элементы, замеряются основные морфометрические показатели карстовых образований. По совокупности дешифровочных признаков определяется площадная и линейная закарстованность территории.

В известняках, выходящих на поверхность, карст надежно дешифрируется по характерному пятнисто-поздреватому рисунку фотоизображения и западинному микрорельефу, подчеркиваемому более темным тоном растительности, которая тяготеет к пониженным наиболее увлажненным участкам. Границы крупных карстовых форм, отличающихся крутыми склонами, устанавливаются с высокой точностью. На выходах галогенных пород карстовые формы также образуют характерный микрорельеф. В местах распространения сложно дислоцированных сульфатных пород карстовые образования сочетаются с «червеобразными» грядами, сложенными ангидритами, более устойчивыми к процессам выветривания, чем гипсы (Козицкая, 1964).

В условиях покрытого карста поверхностные карстовые формы опознаются на аэроснимках по комплексу прямых и косвенных признаков, которые пока систематически не изучены. Подземные формы также выявляются по различным косвенным признакам. Так, древние карстовые воронки, не выраженные в современном рельефе, дешифрируются по растительности. Они резко выделяются среди облесенных территорий, округлыми пятнами, лишенными древесной растительности (Гребенщикова, 1939). На развитие подземных карстовых полостей указывают карстовые источники и особенно травертиновые отложения, накопившиеся в устье воклюз.

Динамика карстовых процессов выявляется на аэроснимках разных залетов по морфографическим и геоботаническим признакам. Последние основываются на изучении смен одних растительных сообществ други-

ми, определяющими различные стадии карстовых форм и процессов. Эти стадии были выявлены и охарактеризованы для лесной зоны А. А. Генкелем (1957), для пустынной — С. В. Викторовым (1966).

Как видно из изложенного, вопросы карстоведческого дешифрирования в значительной мере новы и разработаны еще мало. До сих пор не выявлены и систематически не изучены многие важные прямые и косвенные признаки дешифрирования условий карстообразования и особенностей развития карста, не проверена их достоверность, не составлены классификационные схемы дешифровочных признаков, а без этого нельзя широко внедрить аэрометоды в практику комплексных исследований карста.

Аэровизуальный метод. При изучении карста все шире применяется метод аэровизуальных наблюдений, позволяющий давать общую оценку закарстованности территории, устанавливать основные закономерности распространения карста и выявлять наиболее типичные карстовые участки. Этот метод особенно эффективен при мелко- и среднемасштабной съемке.

Для проведения аэровизуальных наблюдений наиболее удобен самолет типа ЯК-12, имеющий сравнительно небольшую скорость, что позволяет проводить наблюдение и специальное аэрофотографирование с высоты 200—300 м (Михайлов, 1964).

Участники аэровизуальных маршрутов должны иметь топографическую карту, комплект карт отдельных компонентов ландшафта, комплексную ландшафтную карту, а также специальные аналитические, синтетические и комплексные карстоведческие карты, составленные на основе предварительного камерального дешифрирования аэроснимков. Кроме того, необходимо иметь журнал для записи наблюдений и фотоаппарат. Наблюдатель во время полета с помощью условных знаков наносит на топографическую или специальную карту карстовые формы рельефа и оконтуривает участки интенсивной закарстованности, постоянно следя за точностью нанесения наблюдаемых объектов на карты. На соответствующих картах уточняются или фиксируются условия карстообразования. Одновременно производится запись наблюдений в журнал. Интересен опыт использования магнитофона для записи наблюдений с помощью ларингофона, заключенного в звукоизолирующую подушку.

Во время полета необходимо строго следить за маршрутом, точно отмечая время прохождения самолетом хорошо опознаваемых ориентиров, которыми обычно служат излуины рек, острова, устья притоков, озера и т. д. Наблюдатель должен видеть одновременно не менее двух ориентиров. Точное знание курса полета очень важно, поскольку потеря ориентировки может сильно затруднить или вообще сделать невозможной дальнейшую обработку аэровизуальных материалов.

Аэровизуальные наблюдения проводятся как летом, так и зимой. Лучшее время для полетов — раннее утро или вторая половина дня. На заселенной территории полеты лучше проводить весной или осенью, когда деревья не покрыты листьями и местность лучше просматривается. Весной карстовые воронки хорошо прослеживаются по сохранившимся в них пятнам снега. Зимние полеты позволяют выявлять по незамерзающим полыньям подводные выходы карстовых водотоков и в какой-то мере оценивать их количественно (Шимановский, 1961).

Аэровизуальные наблюдения, которые подразделяются на рекогносцировочные, контрольные и дежурные, дополняются и уточняются наземными исследованиями.

Метод специального аэрофотографирования. Специальное аэрофотографирование следует рассматривать как самостоятельный метод исследования карста. В отличие от площадной аэрофотосъемки при специальном аэрофотографировании внимание концентрируется преимущественно

но на наиболее типичных карстовых участках и отдельных характерных карстовых формах. Специальное аэрофотографирование проводится или с самолета, или с вертолета.

Для аэрофотографирования применяют специальные фотокамеры, но можно пользоваться и обычными малоформатными фотоаппаратами типа «ФЭД». Снимок может быть плановым или перспективным. Перспективные снимки особенно интересны для иллюстрации карстовых образований. Точки съемки помечаются на карте и нумеруются. Запись снимков ведется по определенной форме (таблица).

Журнал записи аэрофотоснимков

№ снимка	Содержание фото-снимка	Магнитный курс самолета	Угол съемки по отношению к курсу самолета	Высота полета, м
1	Карстовые воронки к востоку от д. Березнево	С. — В. 20°	45°	300

В примечании указывается вид съемки (плановая, перспективная), время съемки (часы, минуты) и т. д. Масштаб аэрофотоснимка определяется по формуле $M=f/H$, где f — фокусное расстояние объектива, H — высота полета самолета (Высоцкий, 1957).

После изготовления аэрофотоснимков (по возможности в максимально короткие сроки) их следует пронумеровать и привязать к карте. Полученные фотоматериалы могут быть использованы для документации, эталонирования и типизации карстовых объектов.

Схема применения аэрометодов. Организация и методика комплексных карстоведческих исследований с использованием аэрометодов включает три основных этапа — подготовительный (предварительный камеральный), полевой и камеральный (схема).

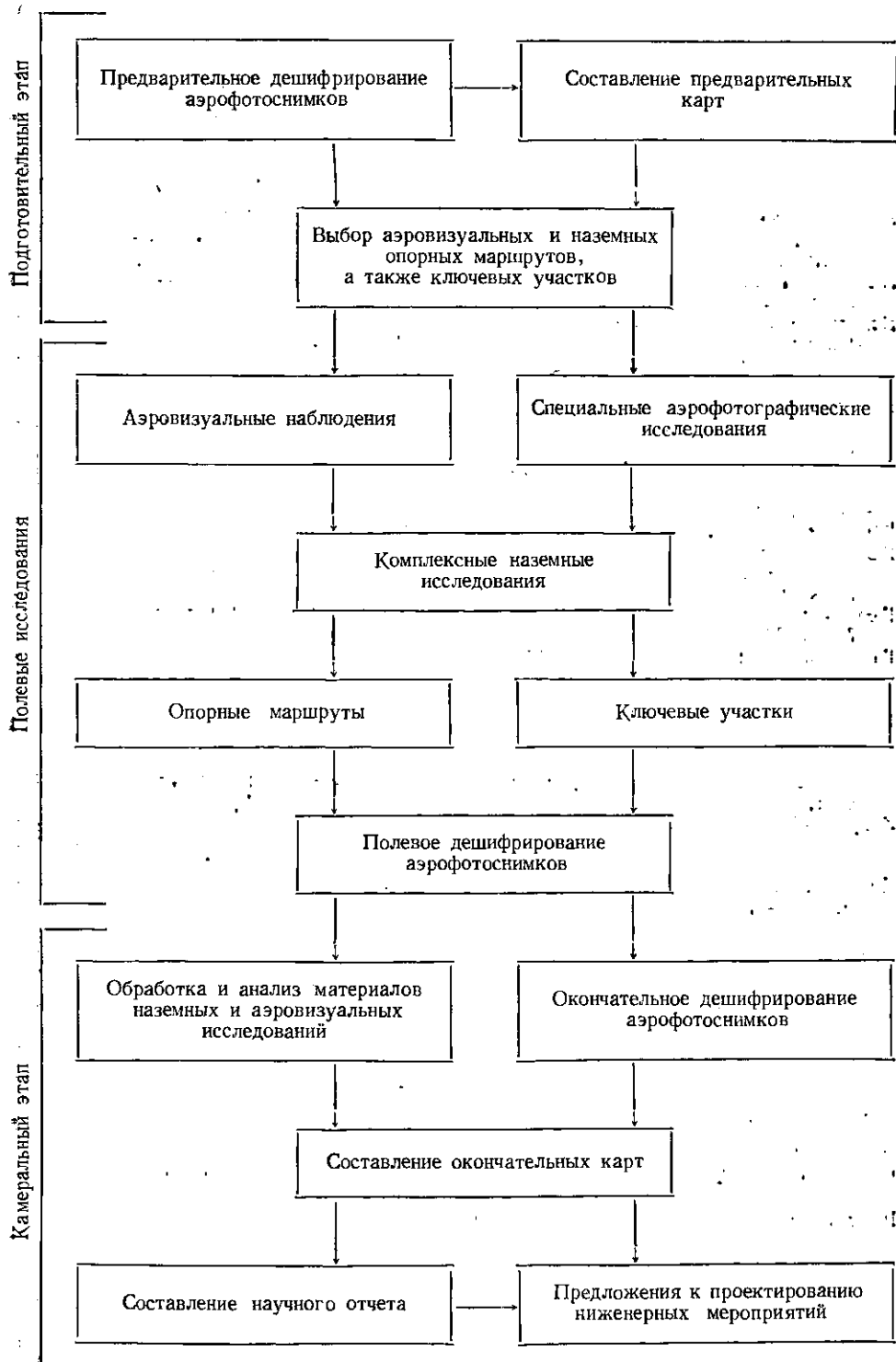
На подготовительной стадии на основе отбора и предварительного дешифрирования аэрофотоснимков устанавливаются характерные физико-географические особенности территории, выделяются участки развития (или возможного развития) карста, проводится количественное изучение выделенных карстовых образований, систематизируются дешифровочные признаки условий карстообразования и карстовых форм рельефа. Детальность предварительного дешифрирования аэрофотоснимков зависит от масштаба комплексных карстоведческих исследований и используемых материалов аэрофотосъемки. В результате камерального дешифрирования составляются предварительные специальные карстоведческие карты, выбираются опорные маршруты полевых исследований и ключевые участки, намечается план аэровизуальных наблюдений.

Полевые работы проводятся преимущественно на ключевых участках и опорных маршрутах. Специфика этих работ кроме точной привязки объектов и описания их фотоизображения заключается в уточнении и детализации дешифровочных признаков, в проверке их достоверности. На основе одновременного изучения аэроснимков и особенностей местности проводится полевое дешифрирование, при этом особое внимание уделяется наиболее сложным участкам.

В задачу камерального этапа входит окончательная обработка собранного материала, исправление и дополнение предварительных специальных карстоведческих карт, составление окончательного варианта карт, написание научного отчета и разработка предложений к проекту инженерных мероприятий.

Направления дальнейших исследований. Применение аэрометодов в комплексном карстоведении будет в дальнейшем все более расширяться. Это потребует разработки ландшафтно-индикационного метода при карстоведческих исследованиях, специального изучения, систематизации и

Методико-структурная схема использования аэрометодов при комплексных карстоведческих исследованиях



классификации признаков дешифрирования, характеризующих условия карстообразования и особенности распространения карста, расширения экспериментальных работ в области количественного карстоведческого дешифрирования, углубления методики изучения динамики карстовых процессов, создания специализированных региональных методик дешифрирования, совершенствования аэровизуальных наблюдений, кодирования дешифровочной информации на перфокартах.

ЛИТЕРАТУРА

- Аристархова Л. Б. О значении геоморфологического метода для геологического картирования в Урало-Эмбенской солянокупольной области.— Уч. зап. Моск. ун-та. Геоморфология, вып. 182, 1956.
- Асоян Д. С. Интерпретоскоп и его использование при геоморфологическом дешифрировании аэроснимков.— Геоморфология, № 1, 1970.
- Викторов С. В. Использование геоботанического метода при геологических и гидрогеологических исследованиях. М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Викторов С. В. Использование индикационных географических исследований в инженерной геологии. М., «Недра», 1966.
- Вохмянина Е. И., Горбунова К. А., Ильиных Ю. А., Никулин А. В., Черткова И. И. Опыт изучения закарстованности путем дешифрирования материалов аэрофотосъемки (на примере Уфимского плато).— В сб.: Гидрогеология и карстоведение, вып. 4. Пермь, 1971.
- Высоцкий Б. П. Аэрометод и аэровизуальные наблюдения при геологическом картировании и поисках полезных ископаемых. М., 1957.
- Гвоздецкий Н. А. Карст. М., Географиз, 1954.
- Гвоздецкий Н. А., Чалая И. П. Индикация горных пород по рисунку гидрографической и долинной сети.— В кн.: Индикационные географические исследования. М., «Наука», 1970.
- Генкель А. А. Торфяники воронок Кунгурского карста. Землеведение, т. 4. Изд-во МГУ, 1957.
- Гогина Н. И. Анализ физико-географической обстановки для целей дешифрирования аэрофотоснимков при геологическом картировании в Восточной Сибири.— Изв. высш. учебн. заведений. Геология и разведка, № 8, 1959.
- Гребенщикова А. А. К вопросу о развитии болот в карстовых воронках Ивановской области.— Сов. ботаника, № 1, 1939.
- Загребина Н. Л. Отражение на аэрофотоснимках связи растительности с литологией пород в Далдынском районе Якутской АССР.— В кн.: Растительные индикаторы почв, горных пород и подземных вод. М., «Наука», 1964.
- Кирюшин В. Н., Багрова З. А., Стариченков И. П. Изображение на аэроснимках карстовых форм рельефа и связанных с ними торфяников.— Докл. комис. аэрофотосъемки и фотограмметрии, вып. 3. Л., 1967.
- Козицкая М. Т. Дешифрирование вещественного состава пород.— В кн.: Аэрометоды при геологической съемке и поисках полезных ископаемых, т. 1. М., «Недра», 1964.
- Максимович Г. А. Методы изучения карста.— Уч. зап. Пермского ун-та, т. 10, вып. 2, 1956.
- Мирошниченко В. П. Современное состояние теории и практики ландшафтного дешифрирования аэроснимков.— В кн.: Теория и практика дешифрирования аэроснимков. М.— Л., «Наука», 1966.
- Михайлов Г. К. Об аэровизуальных наблюдениях при гидрогеологическом изучении карстовых районов.— В кн.: Методика изучения карста, вып. 3. Карстологическая съемка. Пермь, 1964.
- Смирнов Л. Е. Информационные свойства аэроснимков и оценка их дешифрируемости.— Вестн. Ленингр. ун-та, № 6, Геология, география, вып. 1, 1968.
- Соколов Д. С. Основные условия развития карста. М., Госгеолтехиздат, 1962.
- Чижишев А. Г. Ландшафтно-индикационные исследования карста.— В кн.: Индикационные географические исследования. М., «Наука», 1970.
- Шварьева А. М., Геоботаническое дешифрирование при геологических исследованиях.— В кн.: Аэрометоды при геологической съемке и поисках полезных ископаемых, т. 1. М., «Недра», 1964.
- Шимановский Л. А. Применение аэровизуальных полетов и лыжных маршрутов при изучении карста.— Материалы VI Всеуральск. совещания по вопросам географии и охраны природы. Уфа, 1961.
- Karaszewska U. Zastosowanie zdjęć lotniczych przy Kartowaniu form Krasowych Polesia Lubelskiego i drobnych Kuest jurajskich północno-wschodniego obrzeżenia Gór świętokrzyskich.— Fotointerp. geogr., No. 8, 1970.

THE USE OF AERIAL SURVEY IN STUDYING KARST

A. G. CHIKISHEV

Summary

The article deals with the use of the methods of aerial survey in complex karst investigations. These methods make it possible to obtain full information on the intensity of karst formation on a given territory, on the morphological peculiarities of the karst and the hydrological conditions under which it formed. The methods include deciphering of air photographs, aerial and visual observations and special aerial photography. The karst deciphering is one of the kinds of specific deciphering. It takes into account the interrelationship between separate components of a natural complex allowing for a more complete and detailed study of the morphological, typological and dynamic features of karst. Aerovisual method, which gives the general evaluation of the intensity of karst formation, determines the principal regularities in the spreading of karst and detects typical karst areas, is especially effective in small and medium-scale studies. The method of special aerial photography helps to reveal individual characteristics karst forms and their complexes.
