

ВАЛЕНТИНА И. КРАВЦОВА

Московский Государственный
Университет

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОЗОНАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ТЕМАТИЧЕСКОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ

Последние годы знаменуются все более широким использованием в комплексе аэрокосмических методов исследований многозональной съемки. Для нее применяются специальные многообъективные камеры [5], сконструированные одновременно в США и в Советском Союзе, в Московском Университете, а также появившиеся позже многозональные сканеры. В СССР фотографические и сканерные многозональные снимки были получены в самолетных экспериментах 1973 и 1974 гг. при выполнении программ фотографирования с космических кораблей Союз-12 и Союз-13 и при сканерной съемке с восемнадцатого ресурсного спутника Метеор. Сейчас, через несколько лет работы многозональных съемочных систем, после массового получения многозональных снимков и накопления определенного опыта работы с ними, открывается возможность к априорным суждениям о достоинствах многозональной съемки добавить реальный опыт использования таких снимков в различных отраслях исследований природной среды и для нужд народного хозяйства.

К настоящему времени на основании, главным образом, визуального дешифрирования многозональных снимков 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 они дают в таких отраслях исследований, как изучение сельскохозяйственного производства, комплексное изучение зо-

ны 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 года летчиками-космонавтами СССР Героями Советского Союза В. Г. Лазаревым и О. Г. Макаровым (эксперимент поставлен при участии Института космических исследований Академии Наук СССР и Московского Государственного Университета). 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 узкоплёночная камера ЛКСА с $f = 44$ мм, что обеспечивало при съёмке с высоты 350 км в масштабе 1 : 8 000 000 разрешение на местности около 200 м [8]. Такое сравнительно небольшое разрешение сразу же заставляет практически вынести за скобки, исключить из рассмотрения важнейшие для многозональной съёмки объекты — посевы сельскохозяйственных культур, поскольку на снимках с таким разрешением земледельческие массивы и поля с различными культурами, хотя и имеют особую текстуру изображения, не воспринимаются как индивидуальные объекты, и измерения их плотности затруднены (размер массивов полей колеблется от 4—6 км² в районах зернового земледелия на равнинах до долей км² в горных районах, что составляет в масштабе снимка от 0,1 мм² до тысячных долей миллиметра).

Съёмка, проведенная для большей части территории в 6 зонах, максимумы спектральной чувствительности которых указаны в таблице 1,

Таблица 1
Длины волн, соответствующие максимумам
спектральной чувствительности многозональной
съёмочной системы космического корабля
Союз-12

Пленка	Номер съёмочной зоны	λ_{\max} , мкм
Изопанхром Тип-17	1	0,58
	2	0,66
	3	0,68
Изопанхром Тип КН-3	4	0,47
	5	0,54
	6	0,64

по существу использовалась как четырехзональная съемка (ввиду близости спектральной чувствительности 2, 3 и 6 зон) в синей (0,47 мкм), зеленой (0,54 мкм), оранжевой (0,58 мкм) и красной (0,66 мкм) зонах спектра [8].

Съемкой с КК Союз-12 охвачен широкий спектр ландшафтов — песчаные, щебнистые и глинистые пустыни северо-восточной Африки с древними останцовыми горными массивами и бессточными солончаковыми котловинами, горные хребты Малой Азии с полупустынными, степными и лесными горными ландшафтами, 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 от неосвоенных пустынных территорий до районов интенсивного земледелия на орошаемых землях. Съемкой охвачены крупные города, районы разработки полезных ископаемых. 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 некоторую 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 об их мощности. Растительность, в частности, культурная, ее видовой состав и состояние (эффективность их многозональной съемки была показана предшествующими исследованиями) при визуальном дешифрировании многозональных снимков с КК Союз-12 особых преимуществ не получила. Некоторый эффект дало использование многозональных снимков для дешифрирования населенных пунктов. Безусловно, целесообразным оказывается использование многозональных снимков для опознавания дымовых фа-

келов 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 наибольшими глубинами. Это связано не только с различиями в спектральной отражательной способности данных объектов, но и с тем, что глубина проникновения солнечных лучей в воду для различных участков спектра неодинакова [6] — она максимальна в более коротковолновом диапазоне видимой части спектра (рис. 1).

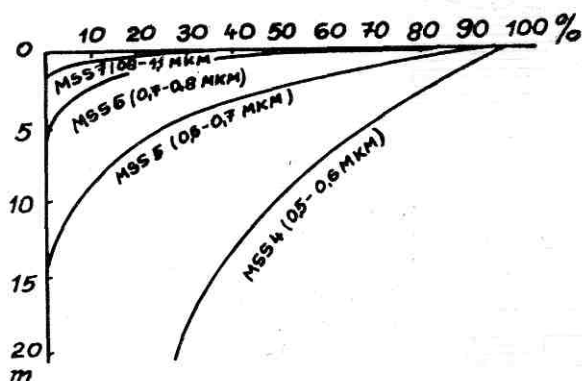


Рис. 1. Проникновение солнечной радиации в морскую воду в четырех спектральных диапазонах многозонального сканера спутника ЕРТС (см. [6])

Для длин волн 0,5—0,6 мкм при условии прозрачной воды эта глубина значительно превышает 20 м, для длин волн 0,6—0,7 мкм — составляет 15 м, для длин волн 0,7—0,8 мкм — 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, полученных с КК Союз-12. Светлая полоса мелководной зоны имеет на зональных снимках разную ширину; ее граница на снимке в зоне с максимумом пропускания 0,47 мкм соответствует изобате 20 м, в зоне с максимумом 0,54 мкм — изобате 12—15 м и в зоне 0,66—0,68 мкм — изобате 10 м (рис. 2).

* Работы по дешифрированию многозональных снимков, результаты которых использованы в настоящей статье, выполнены совместно с С. Ю. Антоновой.

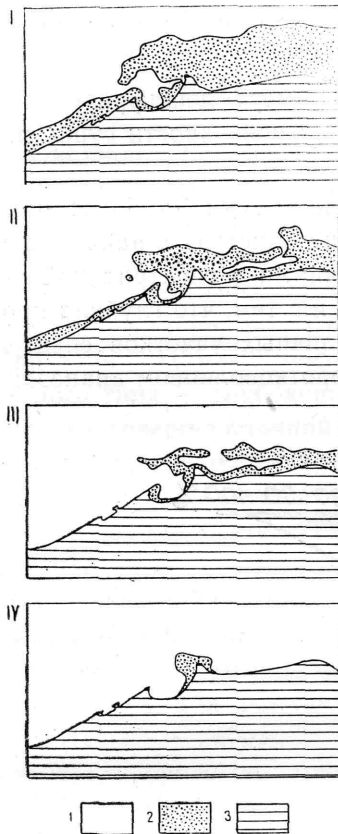


Рис. 2. Результаты визуального дешифрирования подводного рельефа на многозональных снимках на основе разделения плотности изображения: I — зона 4, макс. 0,47 мкм, II — зона 5, макс. 0,54 мкм, III — зона I, макс. 0,58 мкм, IV — зона 6, 2, 3, макс. 0,64, 0,66, 0,68 мкм; 1 — поверхность моря на участках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

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. На снимках Средиземноморского побережья Турции мы столкнулись с очень близким по тону и структуре изображением элементов подводного рельефа — аккумулятивных кос — и взвешенного материала, выносимого рекой Сейхан, которые не различаются даже при анализе снимков всех 6 зон. Еще более 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 между собой изображение этих объектов и даже составить схему подводных ландшафтов анализируемого участка.

Наибольшей информативностью изображения водных объектов характеризуется зона с максимумом 0,54 мкм. Это заключение находится в полном соответствии с выводами предшествующих исследователей и рекомендациями по наиболее эффективным спектральным диапазонам для подводной съемки [7]. Наилучший эффект дает сопоставление изображения в этой зоне и в зонах, близких к тем, которые используются при „обычной”, не многозональной съемке, т.е. с максимумом 0,64—0,68 мкм. Пример такого сопоставления дан на рис. 3.

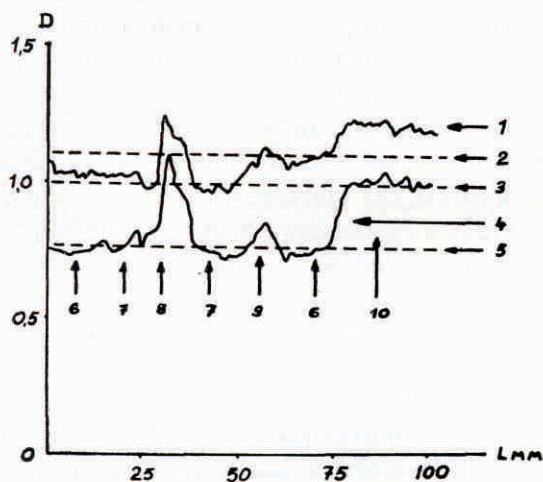


Рис. 3. Регистрограмма измерения плотности изображения мелководья на снимках, сделанных в зеленой (макс. 0,54 мкм) и красной (макс. 0,66 мкм) зонах спектра

Как видно из приведенных фрагментов, мелководные участки Каспийского моря отразились на космических снимках с большей 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 острова 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 грубоководные участки. В Мангышлакском заливе его западная, наиболее грубоководная 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 и 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 зонах 0,64—0,68 мкм 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 синей и зеленой зонах с максимумом чувствительности в области 0,47 и 0,54 мкм. В синей зоне, для которой характерно общее снижение контрастов, глубокие участки моря изображаются ровным серым тоном, а участок между Тюленьими островами и вдоль побережья полуострова Бузачи — более интенсивным темно-серым тоном. Этот темно-серый 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 полуострова Тюб-Караган, где глубины превышают 20 м. Контур этот интерпретируется как донная растительность, поселяющаяся на породах геологической структуры, продолжающей полуостров 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 синей, зеленой и красной зон, 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 Д.

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 регистро-

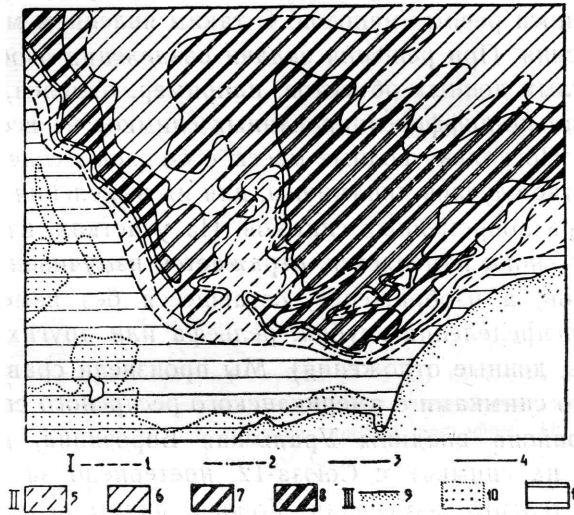


Рис. 4. Изображение массива взмученных вод на снимках, сделанных в различных зонах спектра (рельеф мутевого облака): I — границы массива взмученных вод: 1 — на снимке в 4 зоне (макс. 0,47 мкм), 2 — на снимке в 5 зоне (макс. 0,54 мкм), 3 — на снимках во 2 и 3 зонах (макс. 0,66 и 0,68 мкм; II — площадь мутевого облака: 5 (+6, 7, 8) — в придонном слое, 6 (+7, 8) — в нижнем слое, 7 (+8) — в среднем слое, 8 — в верхнем слое; III — прочие обозначения: 9 — береговая линия, 10 — отмели; 11 — чистые воды

грамм, относящихся к изображению таких объектов, как например, песчаные отмели, участки с глубинами 1,5—3 м, покрытые песчано-ракушечными отложениями или занятые 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 здесь минимальны, заметно меньше плотностей изображения 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 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 участках, изображение 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 КК Союз-12 со снимками с американского ресурсного спутника ЕРТС. 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 удалось 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.

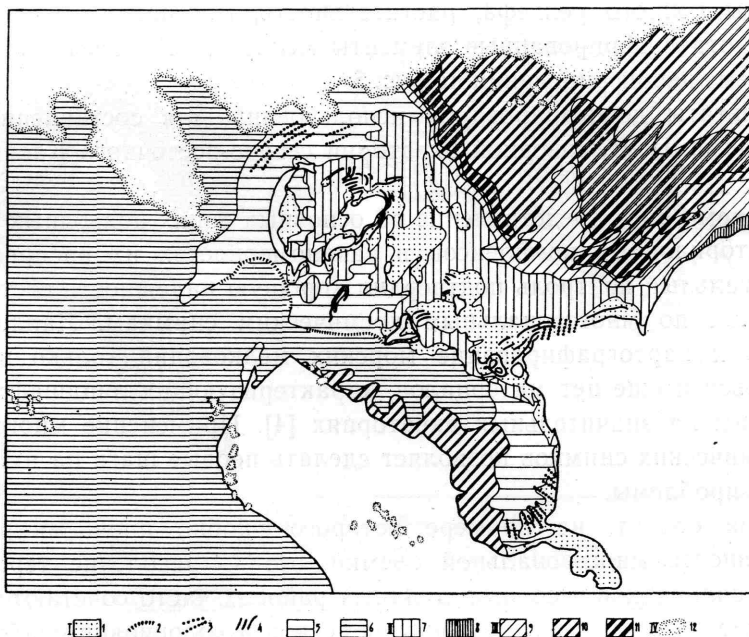


Рис. 5. Результаты дешифрирования мелководной акватории северо-восточного Каспия в районе Тюленьего архипелага по многозональным снимкам: I — формы рельефа дна: 1 — песчаные отмели с глубинами до 1,5 м, 2 — уступы, 3 — гряды и борозды, 4 — подводные бары, 5 — участки средних глубин (3—5 м) со слабо просматриваемым донным рельефом, 6 — участки значительных глубин (более 5 м) с непросматриваемым донным рельефом; II — растительность: 7 — заросли подводной растительности, 8 — заросли подводной растительности и отложений ила; III — 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; IV — облака

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 [1]. К ним относится система параллельных гряд и борозд на глубинах 3—5 м, расположенных северо-западнее острова Кулалы, и резкий уступ южнее этого острова. Некоторые формы рельефа дна, выявляемые по космическим снимкам, прежде на картах не отмечались. Так, у западного окончания полуострова Бузачи на отмелях видны серии параллельных берегу баров, а в юго-восточной части Мангышлакского залива — грядовый рельеф мелководий, образовавшийся, очевидно, в результате сгонно-нагонных явлений.

Формы донного рельефа, растительность, массивы взмученных вод и другие отдешифрованные элементы мелководной акватории показаны на схеме дешифрирования на рис. 5.

Результаты дешифрирования использованы для составления ландшафтной схемы мелководной акватории северо-восточного Каспия (рис. 6).

Эта схема дает представление об основных типах подводных природно-территориальных комплексов и закономерностях их распределения. Аэровизуальный контроль подтвердил хорошую надежность составления таких схем по многозональным космическим снимкам. Ландшафтное изучение и картографирование морских мелководий только начинает развиваться и еще нет материалов, характеризующих ландшафты береговой зоны на значительных акваториях [4]. Применение многозональных космических снимков позволяет сделать первые шаги на пути решения этой проблемы.

Второй объект, на примере которого удобно проиллюстрировать эффективность многозональной съемки, это — засоление территории. 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, макс. 0,66 мкм), наиболее оптимальной для дешифрирования большинства объектов. Анализ их изображения на снимках синей зоны (зона 4, макс. 0,47 мкм), на первый взгляд маловыразительных и наименее информативных, показывает, что в этой зоне удается 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. Этот эффект наблюдается на снимках различных районов — на Средиземноморском побережье хорошо выделяются в 4 зоне солончаковые пляжи в районах разработки месторождений соли под Александрией, осушенные водоемы выпаривания солевого раствора и т.п. Проиллюстрируем использование многозональных снимков для изучения засоления территории на примере дешифрирования снимков полуострова Бузачи на северо-восточном побережье Каспийского моря.

По характеру рельефа полуостров Бузачи представляет собой плоскую, местами всхолмленную равнину, общую монотонность которой осложняют несколько обширных и множество мелких бессточных впадин. Здесь в условиях сухого климата, где испаряемость превышает количество выпадающих атмосферных осадков, 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.

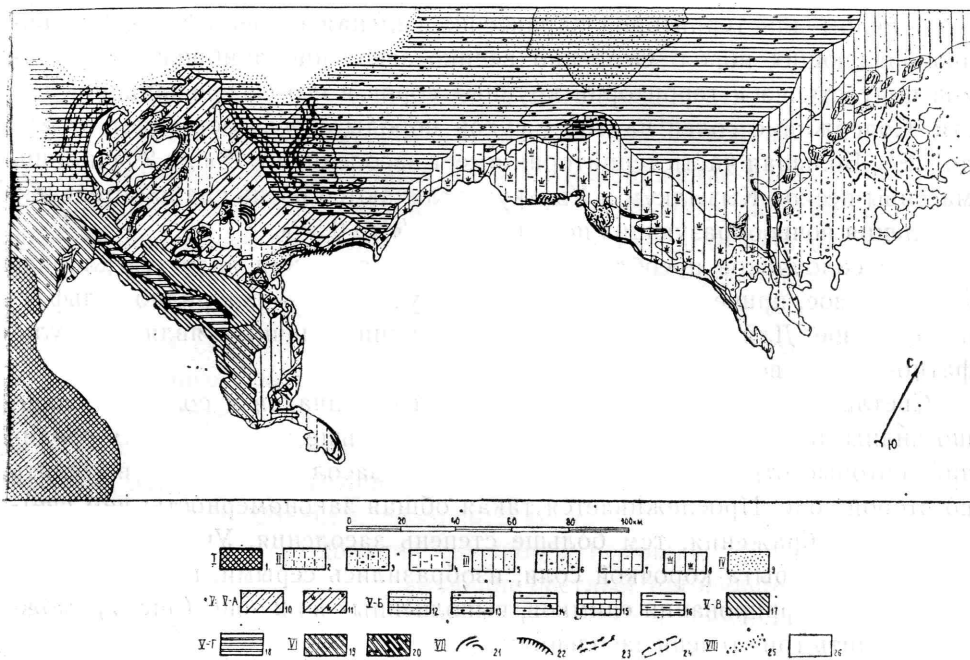


Рис. 6. Ландшафтная схема мелководной акватории северо-восточного Каспия у побережья полуострова Мангышлак и Бузачи. Подводные природно-территориальные комплексы; I: 1 — наклонная абразионно-аккумулятивная равнина подводного берегового склона (глубины более 20 м), сложенная песчано-ракушечными отложениями; II — плоская нерасчлененная прибрежная равнина осушки (глубины до 1,5 м), сформированная сгонно-нагонными течениями: 2 — сложенная песчаными отложениями, 3 — сложенная песчано-ракушечными отложениями, 4 — сложенная илстыми отложениями; III — плоская нерасчлененная равнина мелководья (глубины до 5 м), сформированная сгонно-нагонными течениями: 5 — сложенная песчаными отложениями, 6 — сложенная песчано-ракушечными отложениями, 7 — сложенная илстыми отложениями, 8 — сложенная илстыми отложениями с подводной растительностью; IV: 9 — волнисто-грядовая равнина с подводными барями (глубины до 3 м), созданная волновой аккумуляцией; V — плоско-волнистая равнина мелководья, сформированная волновой аккумуляцией, с неровностями дна, обусловленными погребенным рельефом континентального происхождения; V-A — волнистое поднятие с островами (глубины до 3 м): 10 — сложенное песчаными отложениями; 11 — сложенное песчаными отложениями с подводной растительностью; V-B — плоская равнина без существенных неровностей дна (глубины 3—8 м): 12 — сложенная песчаными отложениями, 13 — сложенная песчано-ракушечными отложениями, 14 — сложенная ракушечными отложениями, 15 — с выходами коренных пород, 16 — сложенная илстыми отложениями; V-G: 17 — склоны древней эрозионной ложбины (глубины 3—15 м), сложенные песчано-ракушечными отложениями; V-G: 18 — днище древней эрозионной ложбины (глубины 7—15 м), сложенные илстыми отложениями; VI — плоская наклонная равнина подводного берегового склона (глубины 8—20 м), сформированная волновой аккумуляцией: 19 — сложенная песчаными отложениями, 20 — сложенная ракушечными отложениями; VII — формы рельефа: 21 — бары, 22 — уступы, 23 — выходы пластов коренных пород, 24 — древние эрозионные ложбины; VIII — прочие обозначения: 25 — облака, 26 — поверхность суши

В целом для территории характерна сильная степень засоления почвообразующих пород. Особенно велико засоление прибрежных участков полуострова и территории крупных сорос в его северо-западной части. Содержание солей на 100 г сухой породы здесь составляет от 2⁰/₀ до 12⁰/₀. Большая часть территории имеет засоление от 1⁰/₀ до 2⁰/₀ и лишь массивы песков Кызылкум и Увахкум отличаются очень слабой степенью засоления почвообразующих пород от 0,01⁰/₀ до 0,5⁰/₀.

Для солончаков преобладающим типом засоления является хлоридно-натриевое, причем, для периферийных участков — хлоридно-сульфатно-натриевое. Для остальной части территории типичным является сульфатно-кальциевое засоление [2, 3].

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 второй зоне. Прослеживается такая общая закономерность: чем светлее тон изображения, тем больше степень засоления. Участки, где поверхность покрыта корочкой соли, изобразились серыми, почти белыми.

При дешифрировании снимков, выполненных во 2 зоне (рис. 7), можно выделить три степени засоления:

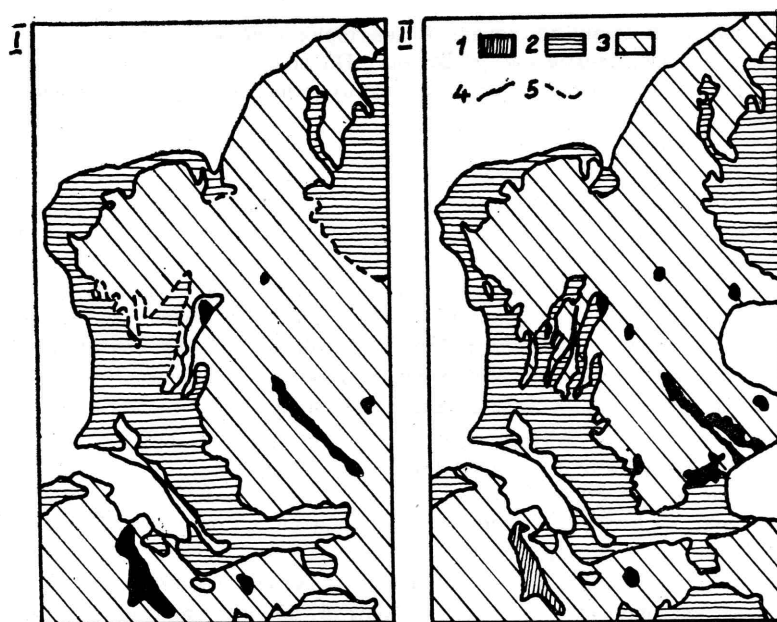


Рис. 7. Результаты дешифрирования засоления территории западной части полуострова Бузачи по космическим фотоснимкам, полученным в различных зонах спектра: I — зона 4 (макс. 0,47 мкм); II — зона 2 (макс. 0,66 мкм): 1 — участки очень сильного засоления с солевой корочкой на поверхности, 2 — участки сильного засоления, 3 — участки от слабого до сильного засоления, 4 — четко выделяющиеся контуры, 5 — нечетко выделяющиеся контуры

- 1) очень сильное засоление, участки с солевой коркой на поверхности (очень светлосерый, почти белый тон изображения),
- 2) сильное засоление (светлосерый тон изображения),
- 3) не очень сильное засоление (серый тон изображения).

На снимках в 4 зоне (макс. 0,47 мкм) 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. Однако по сравнению со снимками в 1, 2, 3, 6 зонах количество таких светлых участков с выходами соли на поверхность значительно меньшее, поэтому на схеме, составленной по снимку в 4 зоне, не нашла отражения часть тех участков, которые во 2 зоне и во всех других зонах выделялись наиболее светлым тоном. Это значит, что во всех зонах, кроме 4, одинаковым светлосерым, 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.

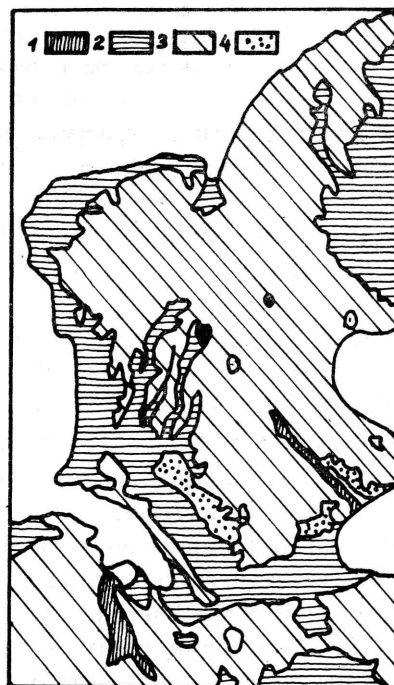


Рис. 8. Результаты дешифрирования засоления территории полуострова Бузачи с использованием снимков, полученных в 4 (макс. 0,47 мкм) и 2 (макс. 0,66 мкм) зонах: 1 — участки очень сильного засоления с солевой коркой на поверхности, 2 — участки сильного засоления, 3 — участки с засолением от слабого до сильного, 4 — пески

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 поверхности.

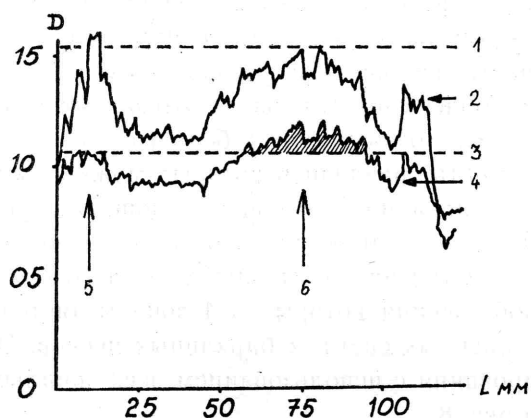


Рис. 9. Регистрограмма измерения плотности изображения песков и солончаков на снимках, сделанных в синей (макс. 0,47 мкм) и красной (макс. 0,66 мкм) зонах спектра

Участок регистрограммы, соответствующий районам, занятым незакрепленными барханными песками, имеет во 2, 3, 6, 1 зонах максимальные значения плотностей, а в 4 зоне кривая резко снижается, плотность изображения уменьшается. Это свойство позволяет отличать песок от засоления 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 мелкозернистой структурой изображения.

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

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 фотоизображением. Результаты анализа позволили сделать следующие выводы:

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 территории 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.

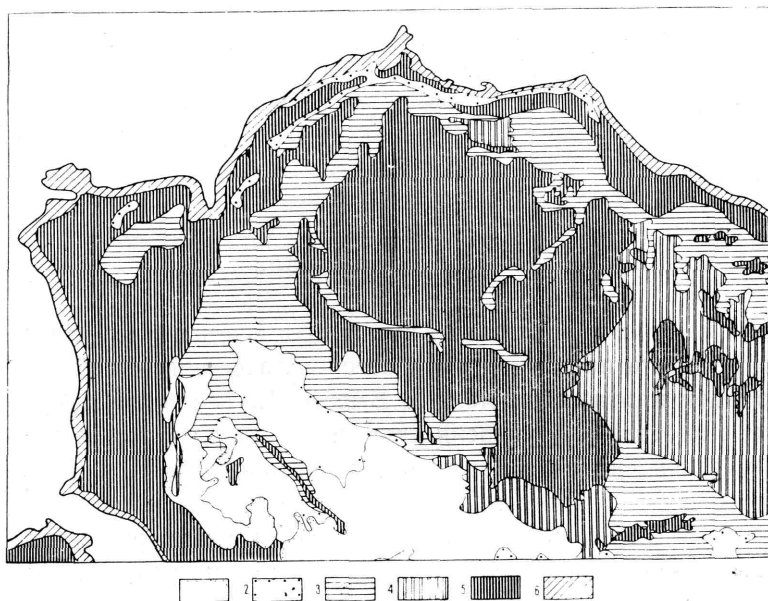
3. Качественные различия в характере засоления (хлоридное, хлоридно-сульфатное, сульфатное засоление) визуальным образом не дешифрируются.

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 изобразились на снимках. Районы с очень слабой степенью засоления остались почти без изменений, так как снимок не позволяет определить степень засоления, если она составляет менее 1‰ соли на 100 г сухой породы (как раньше сказано).

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 они были даны прежде.

I



II

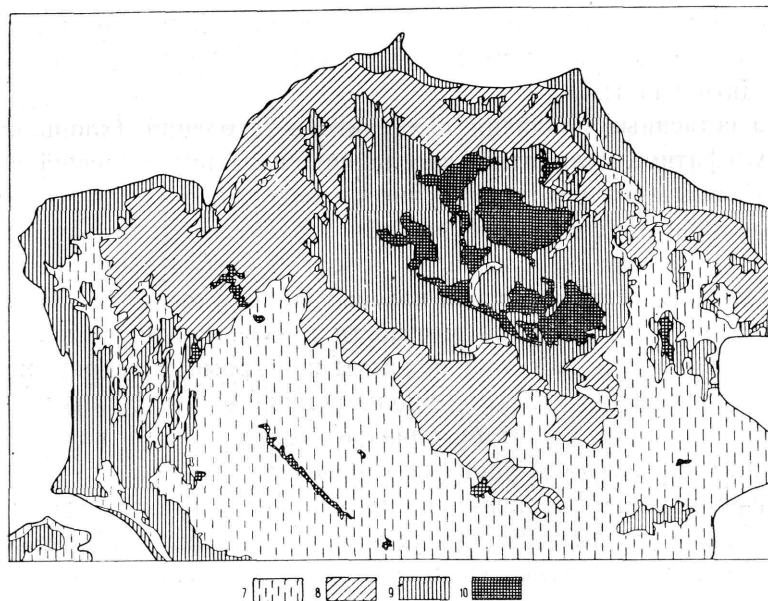


Рис. 10. Фрагмент карты засоления почвообразующих пород масштаба 1 : 500 000 (I) и результаты дешифрирования засоления территории полуострова Бузачи по многозональным снимкам (II). Степень засоления на карте (в % на 100 г сухой породы): 1 — 0,01—0,25%, 2 — 0,26—0,5%, 3 — 1,01—2,0%, 4 — 1,01—12,0%, 5 — 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%)

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 — 0,47 и 0,66 мкм).

Можно привести и некоторые дополнительные примеры эффективности использования многозональной съемки в других областях исследований. Так, например, наблюдаются некоторые различия в спектрально-дифференцированных изображениях некоторых геологических образований, помогающие геологическому дешифрированию. 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 (0,58, 0,66, 0,68 и 0,64 мкм) 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 (0,47 и 0,54 мкм) 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 синей и зеленой зонах (зоны 4 и 5, макс. 0,47 и 0,54 мкм), 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 коротковолновой синей части спектра (зона 4, макс. 0,47 мкм), 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.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] АНДРЕЕВ В. В., ДОБРЫНИНА Т. А., ИГНАТОВ Е. И., МАЕВ Е. Г., ШИРЯЕВ В. Н., 1971: Рельеф дна и донные отложения Мангышлакского порога, [в:] Комплексные исследования Каспийского моря, изд. МГУ, Москва.
- [2] ВЫШИВКИН Д. Д., 1959: Исследование растительности для познания засоления почвообразующих пород пустынь на примере полуострова Мангышлак. Автореферат канд. дисс., изд. МГУ, Москва.
- [3] ВЫШИВКИН Д. Д., 1970: Особенности засоления Северного Казахстана по геоботаническим данным, „Вопр. географии”, вып. 82.
- [4] ГУРЬЕВА З. И., ПЕТРОВ К. М., РАММ Н. С., ШАРКОВ В. В., 1968: Геологогеоморфологическое изучение морских мелководий и берегов по материалам аэрофотосъемки, изд. Наука, Ленинград.
- [5] ЗАИТОВ И. Р., ЦУПРУН С. И., 1962: Аэрофотоаппарат для выбора типа пленки, „Известия Высших Учебных заведений”, сер. Геодезия и аэрофотосъемка, № 3.
- [6] SHARNELL R. L., MAULBERGE A., 1973: *Oceanic observation of New York Bight by ERTS 1*, „Nature”, 1973, 242, N 5399, p. 451—452.
- [7] SPECHT M. R., NEEDLER D., FRITZ N. L., 1973: *New color film for water-photography penetration*, „Photogr. Eng.” 39, N 4, p. 359—369.
- [8] KHODAREV YU., DUNAIEV B., ZEEMAN YU., KNIZHNIKOV YU., KOTZOV V., KRAVTSOVA V., LEBEDER V., MAKAROV O., FIVENSKY YU., TCHESHKOV YU., 1975: *Multiband photography from Soyuz-12 and Soyuz-13 Spacecraft; its application in earth resources studies*, Space Research Institute, Academy of Sciences USSR, Moscow.

WALENTYNA I. KRAWCOWA

PRÓBA ZASTOSOWANIA MULTISPEKTRALNYCH ZDJĘĆ KOSMICZNYCH W BADANIACH GEOGRAFICZNYCH I KARTOGRAFII TEMATYCZNEJ

Streszczenie

Ze statku kosmicznego „Sojuz 12” wykonano serię multispektralnych zdjęć fotograficznych powierzchni Ziemi za pomocą wąskotaśmowej kamery LKSA. Uzyskano zdjęcia w skali 1 : 8 000 000 w sześciu pasmach widma promieniowania elektromagnetycznego.

Przeprowadzono geograficzną interpretację tych zdjęć, zajmując się szczególnie: problemami badań rzeźby dna w płytkowodnym akwenie północno-wschodniej części Morza Kaspijskiego, ujawnieniem typów osadów dennych, rozprzestrzenieniem roślinności wodnej i podwodnej oraz badaniami zawartości zawiesin w wodzie, jak

ównież ustaleniem mętności wody i zanieczyszczeń zbiorników wodnych. Ta część artykułu szeroko analizuje metodykę interpretacji zdjęć multispektralnych do celów oceanologicznych. Omówiono między innymi zastosowanie metody profilowania mikrofotometrycznego na zdjęciach w różnych przedziałach widma elektromagnetycznego.

Interpretację multispektralnych zdjęć kosmicznych do celów kartowania gleb zasolonych przedstawiono na przykładzie półwyspu Buzaczi. Ukazano tutaj ciąg postępowania prowadzący do uzyskania najlepszego rozpoznania stopnia zasolenia i wydzielenia obszarów o jednakowym zasoleniu gleb. Zastosowanie tego typu zdjęć w kartowaniu gleb zasolonych podnosi znacznie efektywność kartowania. Typową ilustracją tego jest rys. 10, dający porównanie wyników interpretacji multispektralnych zdjęć kosmicznych z mapą zasolenia gleb wykonaną tradycyjnymi metodami terenowymi.

W artykule uwypuklono stronę techniczną interpretacji multispektralnych zdjęć kosmicznych, zwracając także uwagę na trudności interpretacyjne i na zagadnienia, które nie mogą być rozwiązane wyłącznie na podstawie tych zdjęć. Jednocześnie podkreślono dalsze możliwości zastosowań tego typu materiałów w innych dziedzinach badań geograficznych.

VALENTINA I. KRAVCOVA

AN ATTEMPT TO UTILISE MULTISPECTRAL SPACE PHOTOGRAPHS IN GEOGRAPHICAL RESEARCH AND IN SPECIAL PURPOSE MAPPING PROJECTS

Summary

A series of multispectral photographs of the earth's surface were made by the space craft „Sojuz 12” using a narrow band LKSA camery. Photographs on a scale of 1 : 8000 were obtained in six electromagnetic radiation spectrum bands.

An attempt was made to prepare a geographical interpretation of these photographs with particular reference to: investigation of the relief of the sea bottom of the shallow water regions of the north east Caspian Sea; detection of types of bottom sediments; distribution of aquatic and subaquatic vegetation and investigations of the quantities of suspended matter in the water, and also the establishing of water cloudiness and state of pollution of water reservoirs. In this part of the article the methodics of interpretation of multispectral photographs for oceanology studies is analysed in depth. In particular a discussion is given of the application of the method of microphotometric profiling on the photographs in various intervals of the electromagnetic spectrum.

Multispectral interpretation of space photographs utilised for the mapping of saline soils is demonstrated on the example of the Buzacza peninsula. A description is given of the work sequence to provide optimum detection of degree of salinity and for delineating regions of similar soil salinity. Making use of photographs of this type in the mapping of saline soils substantially improves the quality of the maps produced.

A typical example may be found in Fig. 10, offering a comparison between the results of interpretation of multispectral space photographs and a map of soil salinity prepared by traditional in situ methods.

The technical side of the multispectral interpretation of space photographs is presented in some detail, mentioning interpretation difficulties and also problems which cannot be solved from study of the photographs alone. The great potential value of the application of material of this type in other areas of geographical research is stressed.

VALENTINA I. KRAVCOVA

**L'ESSAI D'APPLICATION DES PHOTOS SPATIALES MULTISPECTRALES
DANS LES RECHERCHES GÉOGRAPHIQUES ET LA CARTOGRAPHIE
D'OBJETS**

Résumé

Le vaisseau spatial „Sojuz 12” a effectué une série de photos multispectrales de la surface de la terre au moyen d'une caméra à bande étroite LKSA. On a obtenu les photos à l'échelle de 1 : 8 000 000 en six bandes de spectre du rayonnement électromagnétique.

On a fait une interprétation géographique de ces photos, en s'occupant en particulier de: problèmes de relief du fond dans la partie peu profonde nord-est de la Mer Caspienne; révélation des types de sédiments de fond, répartition de la flore aqueuse et sous-marine et de l'étude du contenu des suspensions en l'eau, ainsi que de l'établissement du trouble de l'eau et de la pollution des réservoirs d'eau. Cette partie de l'article analyse largement la méthode de l'interprétation des photos multispectrales pour les buts océanologiques. On a discuté, entre outre, l'application de la méthode de formage microphotométrique sur les photos, dans des écarts différents du spectre électromagnétique.

L'interprétation des photos cosmiques multispectrales pour l'établissement des cartes de sols salés a été présentée à l'exemple de la Péninsule de Buzaczi. On y a montré la suite des procédés conduisant à l'obtention de la meilleure identification du degré de salinité et de séparation des terrains de la même salinité de sol. L'application de ce type de photos dans l'établissement des sols salés en augmente l'efficacité. La fig. 10 en est une illustration typique, en donnant une comparaison des résultats de l'interprétation des photos cosmiques multispectrales et de la carte de la salinité des sols, effectuée par les méthodes traditionnelles en terrain.

Dans l'article on a souligné la partie technique de l'interprétation des photos cosmiques multispectrales, en attirant aussi l'attention sur les difficultés d'interprétation et sur les problèmes qui ne peuvent pas être résolus uniquement à la base de ces photos. On a aussi souligné les possibilités futures de l'application de ce type de documentation dans d'autres domaines des recherches géographiques.