



Отечественная геология



3/2004

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

Журнал «Отечественная геология»

основан академиком И.М.Губкиным более 70 лет назад. Он был и остается лидером периодических изданий геологического профиля. Его основой всегда являлась теснейшая связь теоретических вопросов геологии с решением актуальных практических задач. На его страницах отражается громадный фактический материал по геологическому изучению недр и публикуются фундаментальные разработки, обеспечивающие первостепенные позиции российской геологической мысли. Подобные разработки — основа прогнозов, реализация которых способствует открытию новых рудных провинций и районов и во многом содействует созданию мощного минерально-сырьевого потенциала страны.

Учредители

Министерство природных ресурсов России

Российское геологическое общество

Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт

цветных и благородных металлов

Редколлегия журнала

приглашает к сотрудничеству отечественных и зарубежных исследователей, а также другие журналы.

Подписка на 2005 г.

производится через Роспечать и редакцию журнала.

Периодичность — 6 номеров в год.

Цена годовой подписки 600 руб.

Индекс по каталогу Роспечати 70 824.

Адрес редакции: 117545, Москва, Варшавское шоссе, 129«Б»

Факс (095) 313-18-18

E-mail: tsnigri@tsnigri.ru для «Отечественной геологии»

Контактный телефон 315-28-47

Добровольская Раиса Викторовна

Рябова Нина Сергеевна

Отечественная ГЕОЛОГИЯ



Журнал выходит один раз в два месяца

Основан в марте 1933 года

3/2004

Учредители:

Министерство природных
ресурсов РФ
Российское геологическое общество
Центральный
научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор А. И. Кривцов

Бюро:

И.Ф.Глумов, Р.В.Добровольская (зам. главного редактора), В.А.Ерхов, В.И.Казанский, А.А.Кременецкий, Г.А.Машковцев, Н.В.Милетенко, Л.В.Оганесян (зам. главного редактора), А.Ю.Розанов, Г.В.Ручкин (зам. главного редактора), В.И.Старостин

Редсовет:

А.Н.Барышев, Э.К.Буренков, В.С.Быкадоров, Г.С.Вартанян (председатель редсовета), В.И.Ваганов, Н.Н.Ведерников, А.И.Жамойда, А.Н.Золотов, М.М.Константинов, Т.Н.Корень, Л.И.Красный, Н.К.Курбанов, Н.В.Межеловский, И.Ф.Мигачев, В.М.Питерский, В.Ф.Рогов, Е.И.Семенов, В.С.Сурков, В.А.Ярмолюк

МОСКВА

Содержание

<i>Перцов А.В.</i> Развитие аэрокосмических методов изучения природных ресурсов в XX веке: итоги и перспективы	3	<i>Старостин В.А., Щербаков В.Л.</i> Многочастотная радиолокационная съемка — новый эффективный метод исследования природных ресурсов	44
<i>Афанасьев Н.Ф., Викторов С.В., Вострокнутов Е.П., Перцов А.В., Попова Т.А., Смирнов М.Ю., Смирнова И.О.</i> Система использования космической информации в целях исследования природных ресурсов Земли	8	<i>Попова Т.А., Шубина М.А.</i> Особенности изучения ландшафтов по радиолокационным снимкам	51
<i>Кильдюшевский Е.И., Сухачева Л.Л.</i> Геология и геоэкология побережий и акваторий на основе использования материалов дистанционного зондирования	17	<i>Турченко С.И., Вострокнутов Е.П., Брусничкина Н.А.</i> Применение методов дистанционного зондирования для моделирования места размещения хранилищ радиоактивных отходов в докембрийских геологических формациях	57
<i>Антипов В.С.</i> Выявление и оценка рудоперспективных площадей по ареалам современной активизации недр с использованием полихронной тепловой космической съемки	24	<i>Русанова А.А., Липияйнен К.Л.</i> Мониторинг лесов Карельского перешейка по дистанционным данным на основе ГИС-технологий.	61
<i>Старостин В.А.</i> Радиолокационная аэросъемка при выявлении структур трубчатого типа на территории Ленинградской и Новгородской областей	33	<i>Шубина М.А., Попова Т.А., Сурин В.Г., Викторов С.В.</i> Дистанционный мониторинг сельскохозяйственных культур Ленинградской области	65
<i>Журавлев Е.А.</i> Космоструктурная позиция крупных золотосеребряных месторождений в пределах Охотско-Чукотский вулканогенный пояс	36	<i>Шубина М.А., Кильдюшевский Е.И., Сухачева Л.Л., Черноок В.И.</i> Дистанционное зондирование водорослевого покрова Белого моря	69
<i>Печниковская Л.И.</i> Космоструктурные критерии контроля Нежданнинского золоторудного месторождения (Южное Верхоянье)	41	<i>Бычкова И.А., Викторов С.В.</i> Спутниковый мониторинг портовых комплексов Финского залива	73
		75-летие Евгения Александровича Козловского	80

Редакция: Р.В.Добровольская, Н.С.Рябова
Верстка и оригинал-макет Н.П.Кудрявцева

Подписано в печать 21.05.2004. Формат 60×88/8. Бумага мелованная.
Печать офсетная. Тираж 1000 экз.

Адрес редакции: 117545 Москва, Варшавское шоссе, 129«б».
Телефон: 315-28-47. Факс: 313-18-18. E-mail: tsnigri@tsnigri.ru

Отпечатано ООО «Русская полиграфическая группа»

Развитие аэрокосмических методов изучения природных ресурсов в XX веке: итоги и перспективы

А.В.ПЕРЦОВ

Ретроспективный анализ становления и развития аэрокосмических методов изучения природных ресурсов в XX в. показывает, что развитие системы дистанционного зондирования (ДЗ) определялось, с одной стороны, внешними факторами (уровень развития авиации и космонавтики, приборостроения, средств передачи информации, компьютерной техники, успехи и достижения наук о Земле), а с другой, — факторами внутренними, т.е. в результате внутренних противоречий, возникающих в ходе неравномерного развития отдельных подсистем системы ДЗ — сбора и обработки материалов ДЗ и их тематической интерпретации [1].

Так, первые экспериментальные работы по изучению природных ресурсов методами аэрофотосъемки, проведенные в нашей стране в конце 20-х—начале 30-х годов по инициативе академика А.Е.Ферсмана, показали их высокую эффективность. По результатам этих работ были сделаны выводы о необходимости развития технических средств аэросъемки — создании и совершенствовании аппаратуры для аэросъемки (аэрофотоаппаратов различного типа), методики аэрофотосъемки, методов и технических средств обработки получаемых материалов. С развитием технических средств аэрофотосъемки и выполнением на этой основе больших объемов аэрофотосъемочных работ на базе аэрофотоматериалов, количество которых росло ускоренными темпами, развивалась теория дистанционного зондирования природных ресурсов, исследовались его физические основы, создавались методы тематической (ландшафтной, геологической и т.д.) интерпретации получаемых данных [2]. Все это привело к выводу о необходимости развития технических средств дистанционного зондирования, обеспечивающих получение информации в других, помимо видимого, диапазонах электромагнитного спектра.

Таким образом, в системе дистанционного зондирования природных ресурсов возникло противоречие между возросшим спросом на материалы аэросъемки и реальными возможностями их приобретения. Разрешить это противоречие можно в процессе интенсивного развития технических средств дистанционного зондирования.

Исследования по применению аэросъемки в тепловом диапазоне в природоресурсных исследованиях в нашей стране были начаты по инициативе Н.Г.Келля и Ю.К.Юцевича (ЛАЭМ). Как в России, так и за рубежом первые оптико-электронные сканирующие системы для аэросъемки в тепловом диапазоне создавались с целью воздушной разведки. На первых этапах прикладных природоресурсных исследований с регистрацией теплового излучения было изучение специалистами ЛАЭМ высокотемпературных объектов типа действующих вулканов и парогидротерм. Работы проводились на Камчатке с макетом ИК-сканера «Тепло-М». По результатам исследований в ЛАЭМ было разработано техническое задание, а на Азовском оптико-механическом заводе создан первый отечественный серийный тепловизор «Вулкан».

Исследования по применению радиолокационной аэросъемки в изучении природных ресурсов в нашей стране были начаты по инициативе В.Б.Комарова (ЛАЭМ). Первоначально в качестве съемочной аппаратуры использовалась радиолокационная станция бокового обзора «Горос», разработанная в НПО «Ленинец» для проведения ледовой разведки и некоторых других специальных целей. Интерпретация аэросъемочных материалов, полученных на Полярном Урале, Камчатке, в Туркмении и Казахстане, выполненная сотрудниками ЛАЭМ, показала их высокую эффективность при геологических исследованиях. По результатам исследований в кооперации с организациями Минобороны, предприятиями лесного и сельского хозяйства, гидрометеослужбой и рядом других министерств и ведомств при активном участии специалистов ЛАЭМ было разработано техническое задание на создание самолетной радиолокационной станции бокового обзора нового поколения, учитывающей потребности и специфику изучения природных ресурсов. В короткие сроки такая радиолокационная станция («Нить») была создана в НПО «Ленинец», установлена на ряд самолетов гражданской авиации и начались планомерные широкомасштабные съемки территории страны по заявкам производственных организаций различных ведомств. Так, только по заявкам более чем 30 производственных организаций геологической отрасли силами летно-съемочного звена ЛАЭМ были выполнены аэросъемки на площади около 10 млн.км².

Развитие аэрофотосъемочных работ привело к появлению такого вида аэросъемки как высотная аэрофотосъемка, материалы которой показали высокую информативность в отношении возможности решения задач составления мелкомасштабных и обзорных геологических карт и изучения геологических объектов, требующих большой обзорности.

С развитием космонавтики и появлением материалов космических съемок существенно увеличился поток информации, попадающей в руки специалистов по изучению природных ресурсов — первоначально это были материалы фотографических съемок, в т.ч. спектрально-анализных и многозональных, впоследствии — телевизионных и цифровых многоспектральных, а также радиолокационных.

Следовательно, развитие технических средств получения материалов дистанционного зондирования (подсистема сбора данных ДЗ) привело к резкому увеличению информации, получаемой специалистами по изучению природных ресурсов. Особенно большие объемы информации содержатся в материалах космических съемок, что связано с их большой обзорностью, получением данных в достаточно большом числе спектральных каналов в нескольких диапазонах электромагнитного спектра (видимый, ближний инфракрасный, тепловой, радиоволновой), автоматическим режимом выполнения съемок. Адекватных средств (технических и программных) обработки таких значительных объемов данных в определенный период развития системы ДЗ не существовало. Возникшая ситуация стиму-

лировала интенсивное развитие подсистемы обработки данных. Например, в 80-е годы на базе существующих средств вычислительной техники стали интенсивно развиваться методы автоматизированной обработки аэрокосмической информации, при этом большие надежды возлагались на машинное, т.е. автоматическое дешифрирование. Особенно это было заметно в геологических приложениях ДЗ. Упор главным образом делался на объективный характер автоматического дешифрирования, стабильность повторяемости результатов в отличие от визуального дешифрирования аэро- и космических снимков разными специалистами. Такие разработки позволили создать специализированное программное обеспечение, которое не принесло заметных практических результатов, но послужило основой нового противоречия в системе ДЗ. Субъективное визуальное дешифрирование заменялось субъективным выбором алгоритмов, закладываемых в соответствующие программные модули и системы. При этом следует отметить, что если повторяемость результатов визуального дешифрирования исследовалась в ходе специально поставленных исследований и показала их достаточно низкую сходимость, то в отношении различных применяемых алгоритмов таких исследований не проводилось из-за отсутствия альтернативных наработок в области программного обеспечения. Следовательно, возникшее новое противоречие в системе ДЗ следует определить как противоречие между потенциальными возможностями автоматизированной обработки данных ДЗ и адекватностью интерпретации ее результатов, т.е. между развитием подсистем обработки и интерпретации аэрокосмической информации.

Подобное противоречие было разрешено при создании современного программного обеспечения для обработки данных ДЗ. Это программное обеспечение характеризуется его доступностью для непосредственной интерактивной работы специалистов в области изучения природных ресурсов. Чрезвычайное удобство интерфейсов современного программного обеспечения для обработки данных ДЗ, которое привело к разрешению упомянутого противоречия в системе ДЗ и, соответственно, к развитию подсистем обработки и интерпретации данных ДЗ, породило новое противоречие в развитии системы ДЗ. Дело в том, что именно простота и удобство интерфейсов дает возможность непосредственно специалисту в области природных ресурсов использовать большое число вариантов обработки данных ДЗ, при этом простые критерии сравнения эффективности таких вариантов в подавляющем большинстве случаев отсутствуют. Это очередное противоречие, возникшее в ходе развития системы ДЗ, существует в настоящее время и требует опять разрешения, что и должно привести к дальнейшему развитию подсистем — обработки и интерпретации данных ДЗ [7].

В настоящее время состояния системы ДЗ следует охарактеризовать следующим образом. Подсистема сбора материалов ДЗ — технические средства получения данных ДЗ, с помощью которых с авиа- и космических носителей собирают много- и гиперспектральную информацию, а также радиолокационные данные с цифровой регистрацией (фотографический способ регистрации используется все меньше и меньше). Использование при дистанционном зондировании различных участков электромагнитного спектра (видимый, инфракрасный — ближний, средний, тепловой, микроволновой) с регистрацией измерений в не-

скольких, в т.ч. достаточно узких интервалах, с различной поляризацией, позволяет получать обширную информацию об объектах земной поверхности, особенностях подповерхностных горизонтов и глубинном геологическом строении, состоянии и динамике природной среды, результатах воздействия на нее человеческой деятельности. С учетом различной пространственной разрешающей способности, которую обеспечивают существующие в настоящее время технические средства ДЗ исследования могут быть выполнены на следующих уровнях генерализации: глобальном (масштабы исследований 1:10 000 000 и мельче, пространственное разрешение около 1 км); континентальном (масштабы 1:5 000 000—1:2 500 000, пространственное разрешение не ниже 500—250 м); региональном (масштабы 1:1 500 000—1:500 000, пространственное разрешение не ниже 80 м); локальном (масштабы 1:200 000—1:100 000, пространственное разрешение не ниже 20—30 м); детальном (масштабы 1:50 000—1:25 000, пространственное разрешение не ниже 10 м); подробном (масштабы 1:10 000 и детальнее, пространственное разрешение 5 м и выше).

Съемки из космоса с получением данных в рамках национальных систем приема и регистрации, архивации и распространения материалов ДЗ производятся в настоящее время во многих странах мира: в России, США, Канаде, странах Европейского союза, Японии, Китае, Индии, Бразилии, Израиле, Украине, Южной Корее.

Подсистема обработки материалов ДЗ — компьютерные средства обработки данных ДЗ в настоящее время обеспечивают широкие возможности выполнения геометрических и радиометрических коррекций, а также преобразования данных различных спектральных каналов и диапазонов для их представления в виде, наиболее информативном и удобном для решения задач тематического дешифрирования. Как уже отмечалось, существующее программное обеспечение (ERDAS Imagine, ER Mapper, ENVI и др.) — доступно для освоения специалистами в области изучения природных ресурсов, обеспечивает широкий выбор процедур и параметров преобразования изображений, не требует слишком больших ресурсов компьютерной техники и в настоящее время широко используется во многих странах мира как промышленно развитых, так и развивающихся. Наибольших успехов в создании такого специализированного программного обеспечения, широко распространенного в мире, достигли США, Канада, Австралия, некоторые страны Европейского союза.

Подсистема интерпретации материалов ДЗ — современные компьютерные технологии комплексного анализа разнородных данных, реализованные с помощью ГИС поддерживающих программных систем (ArcInfo, MapInfo и др.), представляют широкие возможности для создания и ведения значительных по объему баз данных разнородной информации, в т.ч. данных ДЗ, комплексной интерпретации аэрокосмической, ландшафтной, геофизической, геохимической, геологической и другой информации. Использование таких технологий предполагает, что из всех возможностей, предоставляемых подобным программным обеспечением, специалист, осуществляющий тематическое дешифрирование данных ДЗ и комплексную интерпретацию разнородных данных, должен выбрать оптимальный набор параметров и процедур. Однако сделать это для каждой конкретной задачи достаточно сложно.

Исследования в области искусственного интеллекта, в частности разработки экспертных систем, показывают, что использование данного программного обеспечения позволяет не только оптимально выбирать процедуры и параметры обработки материалов ДЗ, но и реализовывать эффективный подход к решению сложных задач интерпретации данных ДЗ совместно с геологической, геофизической и геохимической информацией. Для обеспечения специалистов такого рода инструментом интерпретации данных ДЗ, в т.ч. совместно с комплексом других разнородных данных, выполнены разработки специализированного программного обеспечения класса экспертных систем (ЭС), базирующихся на использовании знаний высококвалифицированных специалистов-экспертов в каждой конкретной предметной области (например, ЭС «GENESIS-2», разработки НИИКАМ).

Учитывая современное состояние технических средств получения данных ДЗ и тенденции их развития в последние годы, можно сформулировать основные направления, по которым будет развиваться подсистема сбора материалов ДЗ. Во-первых, должны получить дальнейшее развитие многоспектральные оптико-электронные системы получения информации в видимом, ближнем инфракрасном и тепловом диапазонах электромагнитного спектра — дальнейшее улучшение их пространственного (выше 1 м) и спектрального разрешения. Подобные системы смогут обеспечить решение таких задач исследования природных ресурсов, которые требуют изучения природных объектов незначительных размеров. Это и задачи геологического картографирования крупных и детальных масштабов, мониторинг экзогенных геологических процессов, контроль состояния природной среды, обеспечение решения вопросов контроля природо- и недропользования, решение ряда задач лесного и сельского хозяйств и др.

Особо следует остановиться на практической реализации и развитии технологии гиперспектральной съемки из космоса с высоким пространственным разрешением. Действительно гиперспектральный (384 канала) датчик был запущен в космос еще в 1997 г. (США). Однако в полной мере по техническим причинам этот проект реализовать не удалось. В настоящее время на орбите находятся два экспериментальных спутника с гиперспектральной аппаратурой на борту (США). Их информативность оценивается с использованием материалов съемок Landsat-7 и Terra, а также по данным разведывательных спутников. На наземную станцию передается обработанная и отобранная на борту информация по причине недостаточной пропускной способности канала передачи данных [3]. По сути дела, данный проект имеет двойное назначение — сбор информации в целях изучения природных ресурсов и в интересах оборонных ведомств.

Обращаясь к истории создания технических средств ДЗ в тепловом и радиоволновом диапазонах в середине прошлого века, которое было тесно связано с интересами оборонных ведомств разных стран, можно с уверенностью считать, что существующие технические и организационные сложности в ближайшие годы будут успешно преодолены и в развитых в космическом отношении странах появится технология гиперспектральной съемки, позволяющая получать информацию в узких спектральных каналах (спектральное разрешение до 50 нм) и с высоким пространственным разрешением.

Получаемые данные формируют для исследуемой площади серию («куб») спектральных изображений, число которых может достигать первых сотен. Обработка получаемых данных позволит определить оптимальные узкие каналы для обнаружения и распознавания многих трудно регистрируемых объектов и явлений природной среды, предоставит возможность создавать репрезентативные библиотеки спектров для решения задач крупномасштабного геологического картирования, прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых.

Получат развитие цифровые измерительные многочастотные радиолокационные системы, устанавливаемые на авиационных и космических носителях. Благодаря активному облучению подстилающей поверхности радиоволнами обеспечивается всепогодность метода, т.е. решение задач мониторинга состояния природной среды, при решении которых важно получение необходимой информации в заданные периоды времени, при изучении последствий катастрофических процессов и явлений.

Основная тенденция в развитии радиолокационного метода — реализация следующих принципов: переход на измерительные технологии, использование различной поляризации радиоволн, позволяющей изучать структуру облучаемых поверхностей, использование радиоволн различной длины, в т.ч. метровой, дающее возможность получать информацию о строении подповерхностных горизонтов, а также о строении дневной поверхности залесенных районов. Примеры высокой эффективности радиолокационного метода ДЗ подтверждают результаты, получаемые с применением самолетной радиолокационной станции «Имарк» (Россия) и с помощью космических радиолокационных систем ERS (Европейское космическое агентство) и RADARSAT (Канада). В то же время современные радиолокационные станции способны обеспечивать высокое пространственное разрешение (до 1 м — космическая радиолокационная станция Кондор-Э, создаваемая в России и SAR-Lupe, проектируемая в Германии [4]), так необходимое при решении многих задач изучения природных ресурсов.

Концепция создания малых космических аппаратов или «микроспутников» дистанционного зондирования, развиваемая в настоящее время в некоторых странах, базируется на работах по созданию тактических разведывательных аппаратов в интересах вооруженных сил (США). Так, опыт создания космических аппаратов серии Tac Sat, предназначенных для получения разведывательных данных для отдельных воинских подразделений, показал, что концепция их разработки и эксплуатации возможна при соблюдении условий низкой стоимости изготовления и запуска спутника и высокой оперативности представляемой информации [5]. При наличии достаточных финансовых ресурсов такая концепция может быть реализована и при создании систем космического мониторинга состояния природной среды конкретного района, важного в промышленном отношении, или района интенсивной добычи полезных ископаемых, крупных транспортных узлов, а также районов потенциально опасных в отношении природных стихийных бедствий.

В настоящее время процесс получения данных ДЗ осуществляется либо в рамках крупных центров приема космической информации, которые организуют непосредственно прием таких материалов, их архивирование, первичную обработку, подготовку соответствующих катало-

гов и картограмм наличия информации, продажу космических снимков, в т.ч. с использованием интернет-технологий, либо в рамках функционирования персональных станций приема или их сети, обеспечивающих космической информацией одну или несколько ведомственных организаций. Указанные системы приема отличаются сроками доставки информации конечному потребителю — персональные станции приема, естественно, обеспечивают большую оперативность. Однако все зависит от стоящей перед исследователем задачи.

В случае решения задач изучения геологического строения, поисков и прогнозирования месторождений полезных ископаемых высокая оперативность получения данных ДЗ совершенно не требуется и в интересах выбора наиболее информативных материалов ДЗ (полное отсутствие облачности, оптимальный сезон выполнения съемки), влияющих на качество конечной продукции, предпочтительней использование архивных данных за несколько месяцев и даже лет. При необходимости решения задач мониторинга состояния природной среды, динамики экзогенных геологических процессов, т.е. такого класса задач, когда информация должна быть получена в установленные сроки, предпочтительнее применение персональных станций приема, хотя зачастую требуемая периодичность получения данных ДЗ может быть обеспечена и путем получения космической информации из крупных центров с использованием интернет-технологий.

Вопрос выбора системы получения данных ДЗ заключается еще и в оценке стоимости того или иного способа — получение данных из крупных центров, как правило, с учетом затрат на оборудование и эксплуатацию персональных станций приема, обходится дешевле. Решение данного вопроса не всегда зависит только от стоимости получаемой информации. Существуют задачи и ситуации, когда экономическая сторона вопроса отходит на второй план. Таким образом, выбор способов получения данных каждым конкретным потребителем будет зависеть как от класса стоящих перед ним задач, так и от оценки им величины финансовых ресурсов, которые он готов использовать на получение данных ДЗ. Следовательно, развитие получат и крупные центры приема космической информации, и персональные станции, и ведомственные системы таких станций. От подобного развития ситуации выигрывает конечный потребитель, у которого появляется более широкий выбор путей получения требуемой информации. К тому же в условиях возрастающей конкуренции неизбежно следствие — снижение цен на данные ДЗ. Пример, подтверждающий сказанное, — ситуация, сложившаяся в нашей стране — существуют крупные центры получения данных ДЗ в рамках Федерального космического агентства и функционирует ведомственная система персональных станций Министерства природных ресурсов России.

Еще одно направление развития системы распространения данных ДЗ — реализация таких программ как, например, Global Land Cover Facility Мерилендского университета и Geo Cover Project компании Earth Satellite Corporation (Earth Sat). Эти программы обеспечивают практически неограниченный доступ к постоянно растущему архиву данных Landsat по низким ценам или бесплатно с использованием интернет-технологий. Далеко не всегда в рамках такого рода программ оказываются доступными все исходные данные по всем спектральным каналам с исходным пространственным разрешением, но несомненно, что за указанным спо-

собом доступа к данным ДЗ большое будущее. В России аналогом таких программ можно считать деятельность некоммерческого партнерства «Прозрачный мир» (www.transparentworld.ru).

Формулируя основные направления развития подсистем обработки и интерпретации данных ДЗ, следует отметить, что задачи обработки непосредственно аэрокосмической информации и ее интерпретации в конкретных тематических областях связаны самым тесным образом. Особенно ярко это проявляется в геологических приложениях методов ДЗ. Современные технологии геологоразведочного производства основаны на том, что аэрокосмическая информация представляет собой составную часть пакета информации (геологическая, геофизическая, геохимическая), которая обрабатывается и интерпретируется совместно посредством технологий ГИС-систем, реализованных в соответствующем программном обеспечении [6]. Учитывая современное состояние и тенденции в области обработки и интерпретации данных ДЗ при решении задач геологоразведочного процесса [8], следует сформулировать следующие наиболее актуальные направления исследований:

- создание компьютерных технологий использования многоспектральных, гиперспектральных и радиолокационных данных ДЗ при составлении геологических карт различного масштаба;

- разработка методики и технологии компьютерной обработки и интерпретации разных видов аэрокосмической информации при региональных прогнозно-минерогенических исследованиях на основе создания космоструктурных моделей основных промышленных типов месторождений полезных ископаемых;

- создание специализированных пакетов программ — экспертных систем, предназначенных для решения задач обработки и интерпретации данных ДЗ, в т.ч. совместно с геологическими, геофизическими и геохимическими данными при геологическом картографировании, прогнозировании и поиске месторождений полезных ископаемых;

- разработка компьютерных технологий создания разнотипных дистанционных основ карт геологического содержания как совокупность данных ДЗ, представленных в цифровой форме в виде мозаик отдельных снимков на заданные площади (номенклатурные листы различных масштабов, геологические структуры в их естественных границах и т.п.) и результатов их дешифрирования и интерпретации;

- разработка компьютерных технологий обработки и интерпретации данных ДЗ, получаемых в тепловом диапазоне при решении задач изучения регионального геологического строения, в т.ч. глубинного, при прогнозировании месторождений полезных ископаемых, в первую очередь углеводородного сырья;

- создание методов и технологий компьютерной обработки данных ДЗ в радиоволновом диапазоне при проведении геологических исследований, в первую очередь поисках подземных источников водоснабжения, а также при изучении экзогенных геологических процессов и мониторинге состояния природной среды.

Важнейшая составляющая процесса развития методов ДЗ — внедрение разрабатываемых методов и технологий в практику изучения природных ресурсов. На примере геологической отрасли нашей страны видно, что для внедрения, разработанных в конце 30-х—начале 40-х годов XX в.

методик использования материалов аэрофотосъемки при решении геологических задач, на практике геологоразведочных работ была создана специализированная организация — Аэрофотогеологическая экспедиция (в дальнейшем — Всесоюзный аэрогеологический трест, в настоящее время ФГУНПП «Аэрогеология»). Создание такой специализированной организации позволило в короткие сроки обеспечить широкое использование материалов аэро- и космических съемок при составлении государственных геологических карт масштаба 1:1 000 000 и 1:200 000, создать отечественную школу специалистов-аэрогеологов, ввести дистанционные методы составной частью в технологии геологосъемочных и поисковых работ. Еще одним направлением, обеспечивающим внедрение методов ДЗ в практику геологоразведочных работ, было создание в 70-х годах прошлого столетия практически в каждой крупной геологической организации специализированных подразделений — аэрофотогеологических партий. Таких подразделений было более 50, за каждым был закреплен куратор из числа наиболее квалифицированных специалистов головной научно-исследовательской организации Мингео СССР — ЛАЭМ (сейчас НИИКАМ) или ВАГТ (сейчас ФГУНПП «Аэрогеология»). Кураторы регулярно выезжали в закрепленные за ними аэрофотогеологические партии, с ними постоянно проводилась работа по обмену опытом, организовывались рабочие совещания и семинары и т.д. На всю эту деятельность министерство выделяло финансовые и материальные ресурсы. Такая система внедрения в практику результатов НИОКР в области развития дистанционных методов имела свои недостатки, но ей уделялось постоянное внимание. Она была обеспечена, хотя и не в полной мере, финансовыми ресурсами и приносила определенные результаты.

Термин «внедрение», широко используемый еще совсем недавно, не прижился в эпоху рыночных отношений, и в настоящее время речь следует вести о трансфере технологий и инновациях (т.е. процессах реализации новшеств) в сфере применения методов ДЗ при изучении природных ресурсов.

Понимая под инновационным развитием прежде всего цепь реализованных новшеств, мы должны отчетливо представлять, что всякое инновационное развитие — это не только и не столько процесс трансфера результатов научно-исследовательских работ в производство, а в первую очередь развитие системы факторов и условий, необходимых для этого. Каждому инновационному циклу предшествуют научно-исследовательские, опытно-конструкторские или проектные работы. Их результат создает только задел, на базе которого начинается инновационная деятельность.

Сам процесс инновационного развития имеет, как известно, две главные составляющие: оценку инновационного потенциала и реализацию инновационного проекта. Оценка инновационного потенциала предполагает решение комплекса вопросов — изучение научно-технического, производственно-технологического, финансово-эконо-

мического, кадрового состояния и потенциала производственных организаций, определение экономической целесообразности трансфера той или иной разработанной технологии или метода использования данных ДЗ в конкретном производственном процессе. Реализация инновационного проекта начинается с создания необходимых технических и технологических, а также финансово-экономических условий на производстве, обучения и переподготовки специалистов производственного предприятия. В целом, для реализации конкретных инновационных проектов требуются финансовые ресурсы, направляемые как в производственную, так и научную сферы, являющиеся составными частями единого процесса трансфера технологий.

Таким образом, в современных условиях нельзя ограничиваться переименованием работ НИОКР в инновационные, необходимо изучение, глубокое понимание и тщательное рассмотрение составных частей инновационного процесса, определение трансфера технологий как составной части инновационного процесса. Следует также признать, что идея новшества инновацией не является. Идея может быть инновационной, точнее потенциально инновационной, только в том случае, когда есть доказательства того, что, пройдя через стадии НИОКР и других инновационных циклов, она преобразуется в продукт, услугу, метод, технологию.

В заключение необходимо подчеркнуть, что развитие системы дистанционного зондирования в XX в.—начале XXI в., как одного из эффективных методов изучения природных ресурсов, имеет самые широкие перспективы. В ближайшие годы следует ожидать также возрастания роли методов дистанционного зондирования в комплексе методов изучения природных ресурсов и состояния природной среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аэрокосмические методы геологических исследований* / Под ред. А.В.Перцова. — С-Пб.: Изд-во картфабрики ВСЕГЕИ, 2000.
2. *Аэрометоды геологических исследований. Методическое руководство* / Под ред. А.И.Виноградовой. — Л.: Недра, 1971.
3. Горелов В.А., Лукашевич Е.Л., Стрельцов В.А. Состояние и тенденции развития космических средств дистанционного развития высокого разрешения // Инф. бюллетень ГИС-Ассоциации. 2002. № 5. С. 7—12, 43—45.
4. Копик А. Космическая радиолокационная разведка Германии // Новости космонавтики. 2004. № 1. Т. 14. С. 43.
5. Кучейко А. Микроспутник для комбата // Новости космонавтики. 2004. № 3. Т. 14. С. 42—43.
6. Морозов А.Ф., Карпузов А.Ф., Перцов А.В. и др. Дистанционная основа информационной прогнозно-аналитической системы «Региональная геология и металлогения России» // Региональная геология и металлогения. 2002. № 15. С. 7—13.
7. Перцов А.В. Методические основы использования материалов дистанционного зондирования в геологии // Отечественная геология. 1999. № 6. С. 3—9.
8. Перцов А.В., Антипов В.С., Гальперов Г.В. и др. Семь десятилетий аэрокосмических методов геологических исследований России // Отечественная геология. 2003. № 2. С. 32—35.

Система использования космической информации в целях исследования природных ресурсов Земли

Н.Ф.АФАНАСЬЕВ, С.В.ВИКТОРОВ, Е.П.ВОСТРОКНУТОВ, А.В.ПЕРЦОВ, Т.А.ПОПОВА, М.Ю.СМИРНОВ, И.О.СМИРНОВА

Дистанционные методы исследования природной среды в настоящее время представляют собой источник основополагающей информации в решении теоретических и прикладных проблем природопользования. Непрерывно повышается эффективность геоинформационных технологий на основе космической информации при использовании результатов фундаментальных исследований, обеспечивающих улучшение параметров зондирующих систем, создании новых методов обработки космических снимков и совершенствовании методов интерпретации результатов обработки изображений на основе новых моделей природной среды. Информативность аэрокосмических геоинформационных технологий и их вклад в решение геологических, геоэкологических и прогнозно-поисковых задач при изучении недр растет в связи со значительными темпами их развития по сравнению с другими традиционными технологиями, что достигается благодаря получению аэрокосмических снимков, характеризующихся хорошими разрешающей способностью и обзорностью, привлечению системной методологии и методов синергетики, обеспечивающих использование эффекта кооперативных взаимодействий в геосистеме, отраженного в материалах дистанционного зондирования Земли (МДЗЗ). В настоящее время завершается первый этап в развитии аэрокосмических методов геологических исследований, реализованный на основе геоиндикационного моделирования в рамках феноменологического подхода к познанию геосистем [12] и открывается второй этап, опирающийся на методологии онтологического подхода, в основе которого лежит использование онтологических моделей геологических объектов [2].

Научно-методической основой геоиндикационного моделирования для целей геологического изучения недр служила физическая теория отражения зондирующего и собственного излучения геологических объектов и их индикаторов, а также поляризации зондирующего излучения при взаимодействии с полем вещества. На этой базе возможна только эмпирическая интерпретация МДЗЗ, поэтому достоверность выделения и прогнозирования геологических объектов определяется статистическими параметрами геоиндикационных моделей. Повышение эффективности аэрокосмических методов при данном подходе достигается за счет перехода к использованию информации в более узких диапазонах спектра регистрируемого электромагнитного излучения, а также за счет создания иерархических геоиндикационных моделей.

Онтологический подход в развитии дистанционных методов при геологических, геоэкологических и прогнозно-поисковых исследованиях рассматривается как альтернатива феноменологическому подходу, определявшему развитие дистанционных методов до настоящего времени, и реализуется на основе методологии системного синтеза генетических информационных моделей геосистем различных уровней организации. Геосистема в данном подходе рассматривается как открыто-замкнутая, иерархонегативная, многофазная, самоорганизующаяся система,

функционирующая и эволюционирующая под воздействием внешних и внутренних энергоинформационных потоков. Генетические информационные модели представляют собой внутреннюю структуру геосистем, отражают внутренние закономерности и закономерности взаимодействия систем со средой. Такие системы являются прогнозными и принципиально отличаются от геоиндикационных моделей.

Теоретическая основа онтогенетического моделирования геосистем — функциональный изоморфизм в процессах энергоинформационного обмена, происходящих в геосистеме между генетической и вещественно-энергетической структурами, и отображение внутренней структуры геосистемы в виде изомерийной структуры внешнего электромагнитного поля (ЭМП). Переход к онтогенетическому моделированию в дистанционных исследованиях опирается на ряд достижений в естествознании, полученных в последние годы [1, 6, 14].

Структура системы приема, обработки информации космических снимков и представления результатов пользователю. Общая схема системы. Процесс получения и использования космической информации при решении природоресурсных задач реализован в виде автоматизированной динамической системы приема, обработки, интерпретации, картографического оформления и выдачи результатов заказчику. Функциональная структура системы, представленная на рис. 1, содержит функциональные (обрабатывающие) и управленческие блоки, связанные соответствующими потоками информации.

Блок управления реализует функции планирования, организации, функционирования и развития системы на основе новых технологий и повышения квалификации кадров; выполняет прием и выдачу заказов, диспетчерские функции; разрабатывает технические задания на выполнение съемки и получение имеющейся информации.

Информация в виде космических снимков различной модальности поступает в банк видеоданных, проходит предварительную обработку и в скорректированном виде по запросу передается в блок тематической обработки. Результаты тематической интерпретации МДЗ поступают в картографическую систему и в картографической форме после оценки качества и эффективности технологии передаются заказчику.

Блоки ведения баз данных, предварительной обработки изображений и картографического представления тематической видеоинформации реализованы в виде подсистем с использованием различных вариантов программных систем и программных комплексов.

Тематическая обработка и интерпретация космической видеоинформации осуществляется как с помощью традиционных ГИС-технологий, так и с помощью оригинальных разработок, реализующих идеи геоиндикационного и онтогенетического моделирования геосистем средствами экспертной системы и системы композиционного кодирования.

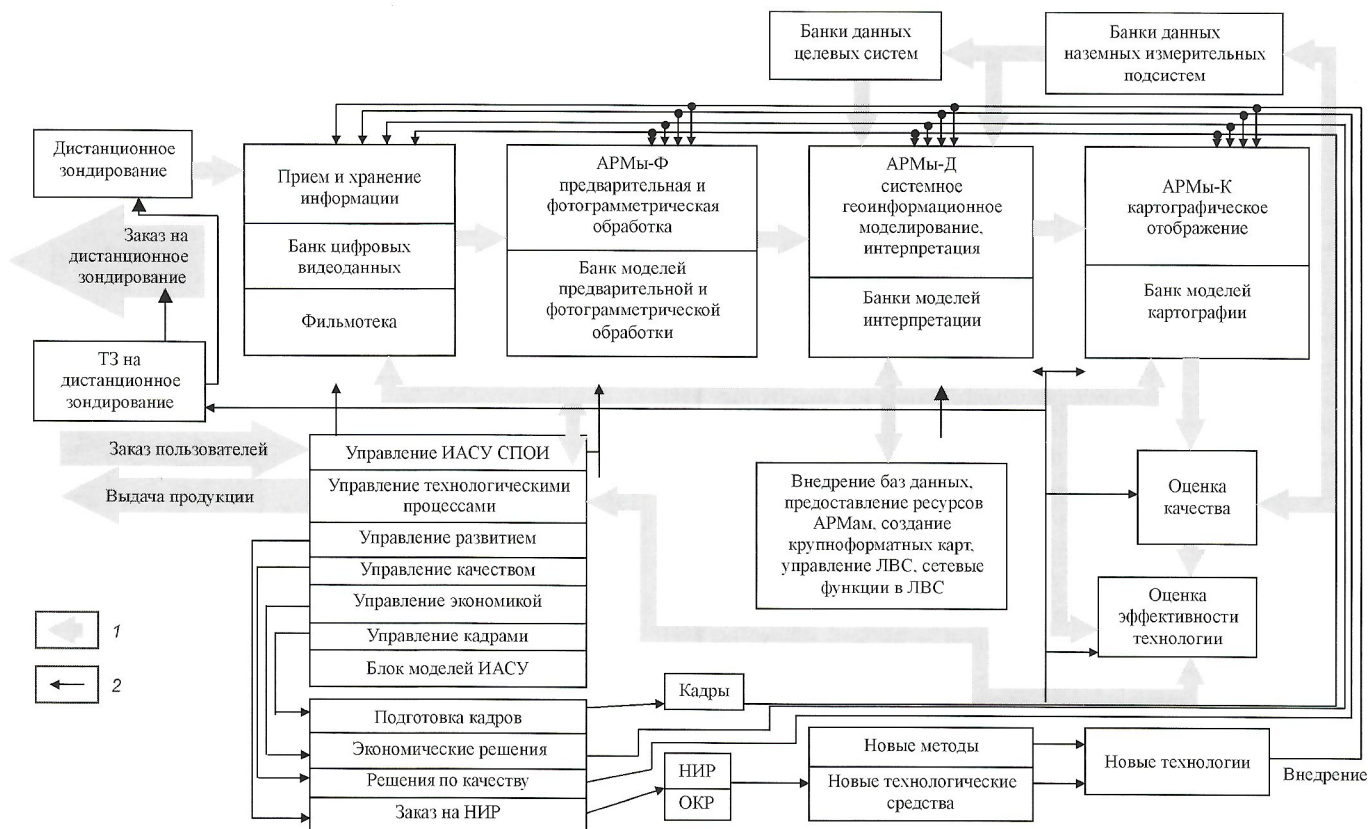


Рис. 1. Функциональная структура системы приема и обработки информации:

связь по: 1 — информации, 2 — управлению

Экспертная система (ЭС) интерпретации космических снимков (КС) «Генезис» основана на использовании методов искусственного интеллекта (ИИ), методов решения интеллектуальных проблем, моделирующих процесс решения человеком слабоструктурированных задач. В блоке интерпретации к задачам такого класса относятся задачи геологического прогнозирования.

Общая цель применения ЭС в геолого-прогнозных исследованиях состоит в том, чтобы представить в виде компьютерных программ неоднозначные, нечеткие или неструктурированные знания, которыми оперируют геологи, решая прогнозные задачи.

Система обеспечивает использование как качественных, так и количественных данных, что дает возможность привлечь практически всю геологическую информацию, имеющуюся по району прогноза. Это существенно увеличивает эффективность компьютерных прогнозных систем, приближая обеспечиваемый ими уровень прогноза к уровню прогноза опытных экспертов.

В настоящее время в ГУП «НИИКАМ» создана специализированная экспертная прогнозная система «Генезис-2», позволяющая на современном технологическом уровне использовать информацию, типичную для МДЗ и ГИС-приложений, и разрабатывается методика ее применения для прогнозирования месторождений полезных ископаемых [4]. Экспертная система «Генезис-2» реализована как приложение на языке Java, независимое от аппаратной платформы.

Основные компоненты, входящие в ЭС «Генезис-2», следующие: базы знаний и данных, подсистемы загрузки

базы знаний, тестирования, логического вывода и объяснений. Для формирования базы знаний в ЭС применяется графическая форма языка описания знаний и редактор базы знаний, позволяющие в диалоговом режиме перевести графическое описание моделей знаний во внутреннее представление системы.

Знания, вводимые в ЭС «Генезис-2», представляются как отдельные модели, которые используются для решения содержательных задач. Совокупность всех экспертных моделей, включенных в ЭС, составляет базу знаний системы. Модель описывается на специальном языке описания знаний.

Формируя свои знания на языке описания знаний и вводя их в ЭС, эксперт дает возможность компьютеру делать определенные логические заключения в виде гипотез разных уровней, истинность которых будет установлена ЭС в ходе логического вывода. Общей гипотезой, сформулированной в задаче, является заключение о перспективности или неперспективности исследуемой территории на определенный тип промышленного оруденения. Промежуточные гипотезы более низкого уровня представляют собой заключения о благоприятных факторах, объединяющих группы геологических признаков (например, формационные или литологические).

Система интерпретации многозональных космических снимков (МКС) на основе композиционного кодирования основана на методологии системного синтеза онтогенетических моделей геосистем с использованием многоканальных космических снимков и другой геолого-геофизической информации. В системе реализован метод ком-

позиционного кодирования комплексной геоинформации, обеспечивающий построение изомерийных структур геологических данных, отражающих эффект взаимодействия физических полей и процессов в геосистеме. Изомерийные структуры геоинформации (МКС) характеризуют внутреннюю структуру геосистемы, поэтому оказывается возможным обнаружение и изучение объектов, непосредственно не наблюдаемых в этой видеоинформации.

Как показано в работе [5], динамическая информация о статических структурах Земли передается на поверхность посредством дипольного электромагнитного поля, находящегося в неравновесном состоянии. Следовательно, разнообразие статических структур земной коры на поверхности Земли представлено нелинейным дипольным электромагнитным полем, которое воздействует на отраженное от поверхности излучение, порождая процесс самоорганизации в его спектральных компонентах. Композиции эффектов самоорганизации и отраженного излучения, проинтегрированные приемниками зондирующих систем, и представляют собой интенсивности изображений. Поэтому для выделения информации о внутренней структуре геосистемы по МДЗ необходимы соответствующие преобразования исходных изображений. Характер этих преобразований определяется закономерностями формирования структур земной коры и отмеченным механизмом отображения их в указанных материалах.

Представление геосистемы в виде системы связанных линейных (устойчивые состояния) и нелинейных (неустойчивые состояния) пространственно распределенных осцилляторов, функционирующих в хаотической среде, послужило основанием для использования вероятностно-статистических методов описания структуры изображений и оценки различия структур в разных точках пространства и их локальных окрестностях.

Характер отмеченных закономерностей в процессах формирования дипольного электромагнитного поля в разные термодинамические фазы структурообразования в земной коре и в процессе регистрации композиций дипольного поля и отраженного излучения системами дистанционного зондирования позволил определить комплекс преобразований, повышающих геологическую информативность МДЗ. Обобщенная функциональная структура системы представлена на рис. 2.

Компьютерный анализ и обработка данных системой выполняется в соответствии с методами и алгоритмами, хранящимися в базе знаний в виде программных модулей и программных комплексов. Для этого предусмотрены: визуальный анализ исходных данных, результатов отдельных видов обработки и синтез моделей, отражающих геолого-геофизические и геоморфологические закономерности, а также предварительная обработка исходных изображений с целью их преобразований в соответствии с указанными требованиями как переменных для композиционного кодирования.

Результаты композиционного кодирования преобразованных данных (изображений и другой информации) в виде комплекса изомерийных структур, соответствующих различным комбинациям переменных, интерпретируются геологом-исследователем и используются для составления (уточнения) и детализации карт и схем соответствующего содержания.

Технологические схемы и результаты исследований. В данном разделе представим материалы, раскрывающие

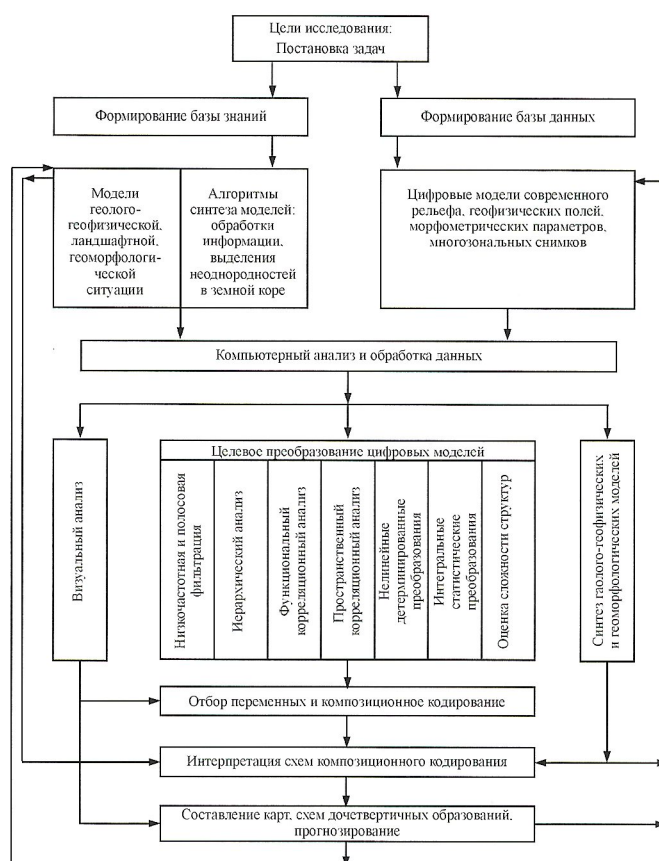


Рис. 2. Обобщенная схема функциональной структуры системы интерпретации снимков на основе онтогенетических моделей геосистем

компьютеризированные технологии решения основных классов задач космогеологического изучения территорий: создание дистанционной основы карт геологического содержания;

изучение геологического строения и объемное геологическое моделирование;

прогнозирование месторождений твердых и нефтегазовых полезных ископаемых;

изучение зоны перехода суша—море.

Создание дистанционной основы карт геологического содержания. При создании комплектов Государственных геологических карт масштабов 1:1 000 000, 1:200 000, более крупномасштабных и детальных (масштаба 1:50 000 и крупнее), а также сводных региональных и общероссийских карт геологического содержания от 1:1 500 000 до 1:10 000 000 масштабов наряду с геофизической и геохимической информацией используются материалы аэро- и космосъемок. В настоящее время МДЗ должны быть, как правило, представлены в виде дистанционной основы карты (комплекта карт) геологического содержания.

Дистанционная основа (ДО) — это определенным образом обработанные и систематизированные исходные материалы дистанционного зондирования в цифровой и аналоговой формах, а также результаты их дешифрирования и интерпретации, обеспечивающие создание высококачественного геокартографического произведения.

Дистанционная основа карт подразделяется на две части — фактографическую и интерпретационную. Компонента-

ми фактографической части являются: 1) нормализованные МДЗ (одного или нескольких диапазонов) в цифровой и аналоговой формах, т.е. материалы космических съемок с устраненными фотометрическими искажениями и смонтированные в единое изображение, трансформированное в картографическую проекцию и геодезическую систему топографической основы той карты, для которой создается ДО; 2) результаты преобразований нормализованных МДЗ по всей территории и (или) их фрагментов, представляющих собой различного рода пространственно-частотные фильтрации и межканальные преобразования, направленные на выявление труднодешифрируемых объектов, подчеркивание тех элементов, которые могут быть использованы при выявлении полезной информации, и решение других задач.

При формировании ДО карт геологического содержания в зависимости от их масштаба используются МДЗ различных уровней генерализации и пространственного разрешения.

Глобальный уровень генерализации обеспечивается данными сканирующих космических систем, работающих в видимом, инфракрасном и микроволновом диапазонах с пространственным разрешением от первых километров до сотен метров (масштаб 1:10 000 000 и мельче).

Континентальный уровень генерализации обеспечивается такими же космическими съемочными системами, но с пространственным разрешением не меньше 500 м (масштабы 1:5 000 000—1:2 500 000).

Региональный уровень генерализации обеспечивает космосъемками в тех же диапазонах электромагнитного спектра сканирующими, радиолокационными, а также фотографическими съемочными системами с пространственным разрешением не меньше 80 м (масштабы 1:1 500 000—1:500 000).

Локальный уровень генерализации обеспечивается фотографическими, сканирующими и радиолокационными системами, пространственное разрешение которых не меньше 20—30 м (масштабы 1:200 000—1:100 000).

Детальный уровень генерализации обеспечивается данными космических и аэросъемок с пространственным разрешением 15 м и больше (масштабы 1:50 000—1:25 000).

Подробный уровень генерализации обеспечивается данными космофотографических и аэросъемок с разрешением 5 м и больше (масштаб 1:10 000 и детальнее).

Интерпретационная часть дистанционной основы (схемы дешифрирования, схемы интерпретации результатов дешифрирования) создается по результатам экспертного визуального и интерактивного анализа фактографической части с учетом имеющейся геологической, геофизической и другой информации.

Данные, получаемые при использовании МДЗ различного уровня генерализации, взаимно дополняют друг друга, с одной стороны, детализируя информацию при переходе от более низкого к более высокому уровню, а с другой, обеспечивая естественную генерализацию детальной информацией при ее использовании для составления более мелкомасштабных карт. Такой подход полностью отвечает требованиям ГИС-технологии по свертыванию и развертыванию информации по всему масштабному ряду карт.

Примеры цветных композитов дистанционных основ представлены на рис. 3, 4 (см. вставку в середине журнала).

Изучение геологического строения и объемное геологическое моделирование. Получение геологической информа-

ции с изображений земной поверхности (т.е. их дешифрирование) — слабоформализуемый творческий процесс. Главная его трудность заключается, с одной стороны, в избыточной информативности изображений, содержащих массу ненужных геологу сведений, а с другой, в фрагментарности полезной информации. Для геологического дешифрирования МДЗ имеют значение плотность растительного покрова, тип рельефа, прозрачность атмосферы, степень окультуренности ландшафта и другие природные и технические факторы, определяющие «фотогеничность» геологических объектов, т.е. возможность их проявления в поле оптических яркостей земной поверхности [4].

В общем случае при интерпретации любого вида изображений земной поверхности полноценная модель геологического строения получается только после прохождения нескольких различных по содержанию логических этапов. На каждом этапе к расшифровке изображения привлекаются данные других методов (геофизические, геохимические, геоморфологические и др.), и в этом смысле фотогеологическая интерпретация всегда комплексна.

Дешифрирование КС характеризуется особенно большим процентом субъективных ошибок, связанных с высокой генерализацией изображения местности, приобретающей на КС непривычные или даже чуждые (на сканерных снимках) очертания по сравнению с картами.

Основную канву интерпретационного процесса образуют ступени последовательной детализации, на которых отдельно изучаются МДЗ разных уровней генерализации (УГ), начиная с наиболее обзорных. На каждом последующем УГ уменьшается глубинность получаемой информации и увеличивается ее детальность. Результирующая карта (схема) должна являться итогом постепенного заполнения структурного каркаса, полученного на наиболее высоком УГ, сведениями о строении все более мелких объектов верхних структурных этажей [4].

В общем случае для районов многоярусного строения плановая конфигурация объектов, выявленных по МДЗ разных УГ, не совпадает. Тем не менее, информация более высоких УГ должна переноситься на карты (схемы) более низких уровней, что ограничивает произвольность проведения слабоконтрастных геологических границ и обеспечивает целенаправленный поиск на более детальных МДЗ мелких объектов, которые могут прояснить геологический смысл крупных структурных элементов, выявленных на предшествующих УГ.

В процессе полевых работ проверяется содержание предварительно выделенных площадных и линейных объектов, выявляется природа неопознанных объектов, разрабатываются геоиндикационные ключи для экстраполяции дешифровочных признаков. В число ключевых участков должны входить эталонные объекты [4].

Далее в традиционной технологии производится формирование «космогеологической» гипотезы структурного плана территории (в виде тектонической схемы). При этом сопоставляются конфигурации космогеологических объектов и структура геофизических полей с данными о поверхностных и глубинных геологических объектах, а также с геохимическими и минерагеническими данными. Если космогеологические объекты не согласуются с известным структурным планом, то основанием для их геологической интерпретации может служить сходство их строения с известными объектами, а также специальный анализ геофизических данных. Кроме того, природа этих

объектов может проясниться при дешифрировании более детальных материалов и использовании онтогенетических моделей геосистемы.

Среди выделенных и «неопознанных» объектов существует класс глубинных скрытых структур, не устанавливаемых геологическим картированием (например, скрытые структуры фундамента, криптобатолиты и т.п.). Практически такие структуры можно интерпретировать только с помощью геофизических методов.

Привлечение системы композиционного кодирования для дешифрирования МКС позволяет решать задачи выделения информации о строении и конфигурации поверхностей, погруженных на разные уровни структурных горизонтов. Эти данные используются для объемного геологического моделирования (рис. 5, см. вставку в середине журнала).

Прогнозирование месторождений твердых полезных ископаемых. При прогнозных и поисковых работах дистанционное зондирование играет весьма значительную роль. На материалах дистанционного зондирования отображаются структурные, геоморфологические, вещественные и геодинамические факторы контроля рудоносных объектов (таксонов) разных иерархических уровней [13]. Современная методика прогнозирования месторождений твердых полезных ископаемых на основе МДЗ базируется на принципе поэтапного минерагенического анализа территорий разных уровней генерализации (УГ), предусматривающем создание системы космоструктурно-поисковых моделей (ППМ) [4]. На каждом уровне генерализации изучается определенный металлогенический таксон, в результате чего в его пределах выявляются рудные объекты следующего, более детального уровня генерализации. Материалы смежных УГ должны отличаться по масштабу в 2,5—5 раз, т.к. при этом условии возникают качественные различия любой картографической информации, в т.ч. получаемой при дешифрировании снимков. Пропуск одного из уровней нецелесообразен. По каждому уровню генерализации решаются следующие задачи:

исследование рудных таксонов, выбранных как эталонные по минерагеническим, геологическим, геофизическим, геохимическим и геоморфологическим данным на основе данных дешифрирования МДЗ, в т.ч. с учетом особенностей изображения таксонов на снимках;

разработка прогнозно-поисковых моделей соответствующих рудных таксонов;

прогнозирование рудных объектов, подобных эталонным.

В системе прогнозирования применяется рациональная последовательность признаков и критериев, способствующая достижению наилучшей локализации перспективных площадей при минимальном числе используемых критериев, которая должна быть определена на всех уровнях исследований. Способы решения задач прогнозирования на каждом уровне генерализации имеют свои особенности. Для интерпретации структурной информации, выявленной по МДЗ в комплексе с ними, применяют, прежде всего, геофизические данные с целью обоснования глубинной природы отдешифрированных объектов.

Изучение строения иерархического ряда площадей, включающих крупнейшие месторождения Au, Cu, Sn, W методами дистанционного зондирования, в т.ч. геофизическими, позволило выявить и сформулировать некоторые общие закономерности строения и размещения таких рудных объектов [4].

Одна из ведущих составляющих прогнозно-поисковых моделей крупнейших рудных объектов по МДЗ — структурный фактор локализации оруденения. На глобальном уровне генерализации наиболее общим фактором структурного контроля крупнейших месторождений во всех рассмотренных нами минерагенических провинциях являются кольцевые мегаструктуры поперечником 600—1000 км. Они выявляются, как правило, в результате анализа серии космических снимков, полученных с разных носителей в различных зонах спектра, в разные сезоны и время суток, подвергнутых специализированной компьютерной обработке.

Контроль мегаструктурами крупнейших рудных объектов осуществляется на участках пересечения их внешних (реже внутренних) колец с транзитными зонами глубинных разломов при ведущей металлогенической роли одной из зон обычно рифтогенного генезиса. Ведущие (главные) зоны разломов по отношению к кольцевой структуре либо диаметральные (Кызылкумы, Колыма — золото, Урал — медь, Казахстан — вольфрам), либо сегментарные (Чукотка, Приморье — олово, Северное Прибайкалье — золото).

На континентальном уровне генерализации для рудных областей характерны геоструктурные компоненты ППМ — участки транзитных зон разломов глубинного заложения, рифтогенные зоны, находящиеся в пределах мегакольцевых структур или секущие их. Рудные области приурочены к осевым частям линейных структур или зонам их оперения, местам их пересечения с внешними кольцами мегаструктур.

Для рудных областей характерны специфические системы разломов второго порядка (после разломов главных направлений) — транзитные или присущие только внутренней структуре областей. Две—три серии этих разломов формируют своеобразные блоки без четких линейных границ.

На региональном уровне генерализации (рудные районы) основные структурные элементы ППМ — это блоки с аномально повышенной плотностью кольцевых структур поперечником до 30 км. Очертания блоков разнообразны, их границы в основном тектонические. Характерные структуры рудных районов, вмещающих крупные и крупнейшие месторождения, — специфические решетки разломов, отдельные серии которых развиты только в пределах этих районов. Наиболее крупные рудные объекты расположены внутри сравнительно мелких кольцевых структур или касаются к ним. Такие кольцевые структуры находятся в наиболее высокопорядковых (6—8) узлах пересечения разломов.

На более детальных уровнях генерализации структурный контроль различных типов оруденения более разнообразен.

Прогнозирование с использованием экспертной системы «Генезис 2» выполнено на тестовом участке «Онега» Онежской рудной области Южной Карелии. Объект прогноза — платинометалльное оруденение. В результате работы экспертной системы было получено экспертное заключение о приуроченности рудного района к бортовой части трансформного к палеорифту разлома и выделены площади (рис. 6, см. вставку в середине журнала) с различной достоверностью перспективные на обнаружение платинорудных месторождений в рифтогенных структурах Кольско-Карельского региона.

Изучение нефтегазоносных бассейнов и прогноз-но-поисковые работы на нефть и газ. Специфика использования МДЗ при поисках месторождений нефти и газа обусловлена геологическими особенностями нефтегазоносных территорий, представляющих собой осадочные бассейны со слабо дислоцированным чехлом большой мощности. Ловушки углеводородов приурочены, как правило, к глубоким горизонтам осадочного чехла и отражаются на поверхности через элементы и компоненты ландшафта.

Дешифрирование МДЗ базируется на геоиндикационной концепции о взаимосвязи всех компонентов ландшафта. Ландшафтные элементы и компоненты, как результат взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов, содержат информацию о структуре, составе и состоянии глубинных геологических объектов, являясь их индикаторами.

Изменения в характере распределения линеаментов, мезо- и микроформ рельефа, состояния, структуры и состава поверхностных отложений и растительности над нефтяными залежами происходят под влиянием неотектонических движений блоков, уплотнения, проседания, трещинообразования пород, перекрывающих нефтегазовые резервуары вплоть до поверхности, а также под воздействием мигрирующих от залежей флюидов.

Для успешного использования МДЗ в закрытых районах, какими, как правило, являются нефтегазоносные территории и, в особенности, для прогноза нефтегазосодержащих структур, требуется одновременный анализ большого количества дистанционных и геолого-геофизических данных.

В ГУП «НИИКАМ» разработана технология обработки и анализа МДЗ в комплексе с геолого-геофизическими данными на базе ГИС при нефтегазопроисловых работах. Технология включает 4 этапа: 1) постановка задачи; 2) формирование базы знаний и базы данных; 3) обработка и анализ данных (визуальный анализ МДЗ, автоматизированная обработка МДЗ, в т.ч. операции с многозональными изображениями, классификация, выделение и анализ геоиндикаторов геологических структур, обработка топографических и геолого-геофизических данных); 4) комплексный анализ информации.

В зависимости от этапа и стадии геологоразведочных работ на нефть и газ, при которых применяются МДЗ, с помощью разработанной технологии могут быть решены различные задачи: тектоническое и нефтегазоперспективное районирование территорий с выделением основных разрывов и нефтегазоперспективных участков; выявление ловушек нефти и газа различных типов (антиклинальный, рифовый, приразломный) с определением первоочередных объектов для постановки сейсморазведочных работ и поискового бурения; детальное изучение нефтеперспективных площадей для наиболее рационального размещения разведочных скважин и выявления участков, где возможны осложнения при бурении.

Апробация технологии представлена на примерах Амударьинской и Тимано-Печорской нефтегазоносных провинций, располагающихся в разных ландшафтных зонах (пустынная и тундровая). Общие методические приемы, используемые для районов с такими различными природными условиями, позволяют адаптировать технологию и для других нефтегазоносных провинций, располагающихся на территории России.

Для территории Чарджоуской ступени Амударьинской нефтегазоносной провинции, характеризующейся высокой интенсивностью новейших тектонических движений и хорошей выраженностью геологических структур в рельефе и на МДЗ, выделены геоморфологические (связанные главным образом с распределением форм песчаного рельефа) и геохимические геоиндикаторы газонефтеносных структур, проведена типизация структур по выраженности их в рельефе и на МДЗ, которая позволила не только отнести прогнозируемые по геоиндикаторам локальные нефтегазоперспективные структуры к определенным типам, но и предполагать некоторые параметры их строения (размеры, форма в плане, ориентировка, раздробленность разломами, амплитуда и т.д.), характерные для этого типа. С целью прогноза неантиклинальных (рифовых) ловушек выполнен детальный линеаментный анализ, позволивший по распределению плотности линеаментов выделить различные типы рифов (атоллы, банки, барьерные). Проведен прогноз структурной поверхности продуктивного горизонта методом регрессионного анализа.

Территория Тимано-Печорской провинции — более сложный объект для применения МДЗ при прогнозе нефтегазоперспективных структур как в связи с суровыми климатическими условиями (длительное присутствие снежного покрова, частая и сильная облачность), так и с особенностями геологического строения (наличие нескольких нефтегазоносных горизонтов, выклинивание нефтегазоносных горизонтов и покрышек, широкое развитие неантиклинальных ловушек, наличие толщ многолетнемерзлых четвертичных образований, частично маскирующих проявление глубинных геологических структур на поверхности). Однако и здесь удалось установить связи в распределении месторождений нефти и газа и ледниковых форм рельефа и выявить геоиндикаторы нефтегазоперспективных структур.

В результате комплексного анализа для территории Тимано-Печорской провинции составлена схема тектонического районирования осадочного чехла, выделены перспективные на обнаружение залежей углеводородов участки, проведен прогноз нефтегазоперспективных структур, детально изучен участок, где располагается одно из крупнейших месторождений — месторождение им.Титова и сделаны следующие выводы:

1. Важную роль в распределении месторождений углеводородов играют разрывные нарушения различного возраста.

2. Большая часть месторождений расположена цепочками вдоль разломов фундамента рифейского возраста в пределах валообразных поднятий осадочного чехла северо-западного простирания.

3. По результатам дешифрирования МДЗ выделены линеаменты северо-западного простирания, которые, как правило, соответствуют разрывным нарушениям фундамента и разграничивают структуры осадочного чехла первого и второго порядков.

4. По результатам дешифрирования МДЗ на фоне отчетливо выраженных по геолого-геофизическим данным северо-западных разрывов наблюдаются северо-восточные зоны линеаментов. Северо-восточная зональность отмечается при анализе распределения озер различных высотных уровней и глубины залегания подошвы мерзлоты.

5. Месторождения углеводородов находятся, как правило, на пересечении северо-западных и северо-восточных зон линеаментов. К северо-восточной зоне линеаментов

приурочена зона верхнедевонских рифов. Данная зона характеризуется повышенной концентрацией крупных озер и приблизительно совпадает с границей валдайского оледенения. Севернее этой зоны месторождения главным образом газовые и расположены в верхней части разреза (С, Р, Т), южнее — преимущественно нефтяные, приуроченные к нижним горизонтам чехла (S—D).

6. Над месторождением им.Титова на изображении отношения каналов 3 и 1 космического снимка, полученного

с японского спутника JERS-1, выделена кольцевая аномалия, совпадающая в плане с контуром нефтегазоносности. Происхождение аномалии может быть объяснено подтоком углеводородных флюидов, изменяющих состояние почвенно-растительного покрова и его отражательные свойства в видимой (канал 1) и ближней инфракрасной (канал 3) частях спектра (рис. 7).

В целом приведенные данные позволяют отметить, что МДЗ вносят существенный вклад, как при изучении регио-

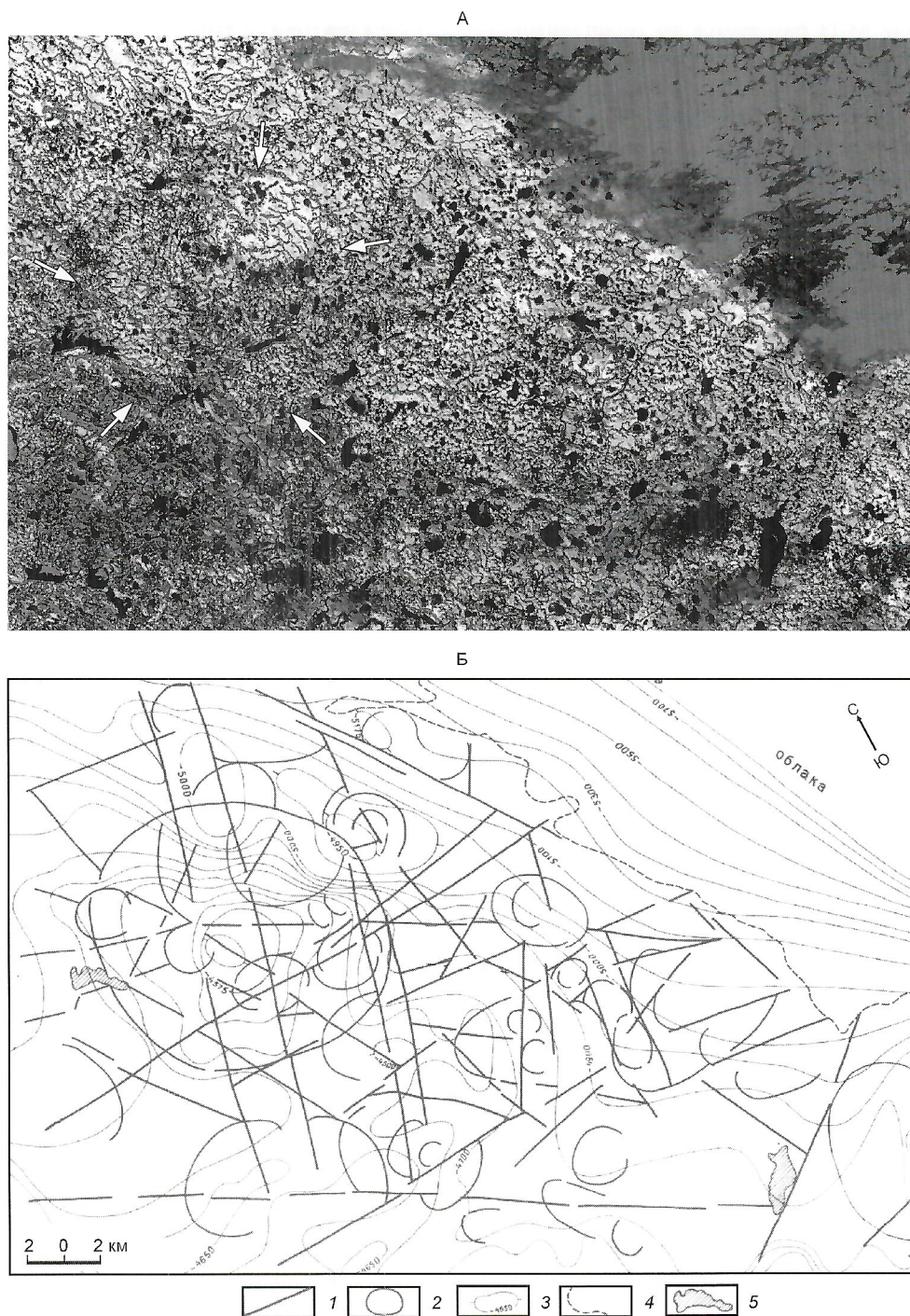


Рис. 7. Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция. Участок 3. Анализ отношения каналов космического снимка JERS-1:

А — результат деления 3-го канала на 1-й канал; Б — выделенные элементы: 1 — линейные, 2 — концентрические и дуговые, 3 — изогипсы поверхности силурийских отложений (А.И.Писарева, А.И.Олейник), 4 — граница облаков, 5 — озера

нальных закономерностей, так и при локальном и детальном прогнозе нефтегазоносности.

Прогнозирование нефтегазоносности по многозональным космическим снимкам (МКС) с использованием системы композиционного кодирования геоинформации. Прогнозирование нефтегазоносности территории по МКС с помощью системы композиционного кодирования реализуется в двух вариантах: 1) распознавание с обучением, 2) теоретическая интерпретация изомерийных структур многоканальных изображений.

Распознавание с обучением позволяет решать задачу прогнозирования месторождений по известным на данной территории месторождениям. Теоретическая интерпретация изомерийных структур основана на теории геодипольной структуры энергоактивных областей нефтегазовых бассейнов.

Эффективность системы для прогнозирования месторождений в нефтегазовых бассейнах оценивалась на участках Харайверской впадины Тимано-Печерской нефтегазовой провинции (вариант 1) и Кенкиак-Темурского поднятия Прикаспийской впадины (вариант 2).

В сложных геологических условиях Хорейверской впадины, характеризующихся наличием нескольких нефтегазовых комплексов, широким развитием неантиклинарных ловушек, присутствием толщи многолетнемерзлых четвертичных образований ледникового генезиса, влияющих на структуру изображения, достоверность прогноза для различных комплексов космических снимков и геоморфологических данных оценивается вероятностью обнаружения объекта в интервале от 0,54 до 0,66.

Теоретическое прогнозирование известного месторождения в Прикаспийской впадине выполнено по четырем изображениям, полученным системой Landsat в 4—7 каналах, в виде схемы точечного прогноза рис. 8. Схема построена по дипольным структурам изомеров многоканальных изображений. Достоверность прогноза залежи оценена вероятностью попадания прогнозной точки в контуры месторождения, оказавшейся равной 0,89.

Изучение переходных зон «суша—море» и мониторинг прибрежных вод. Исследование береговых зон морей — важное направление междисциплинарных исследований, находящееся на стыке ряда наук о Земле, таких как геология, геоморфология, океанология, экология и др.

В последние годы осознана необходимость комплексного изучения береговых зон, учитывающего как процессы в морской среде, так и на суше, причем не только естественные природные процессы, но и изменения природной среды под действием техногенной нагрузки, и создания общедоступных геоэкологических карт прибрежных территорий, обеспечивающих организацию рациональной природопользовательской деятельности в этих зонах. В настоящее время существует ряд международных программ связанных с мониторингом береговых зон.

Как правило, службы мониторинга прибрежных зон и водоемов для исследования параметров окружающей среды используют традиционные судовые и полевые методы наблюдений. Нетрадиционные методы дистанционного зондирования пока применяются не очень широко. Данные судовых и наземных наблюдений позволяют получать ряды наблюдений для оценки различных параметров. Использование современных надводных и погружаемых оптических приборов даст возможность проводить оперативный мониторинг оптически активных параметров вод-

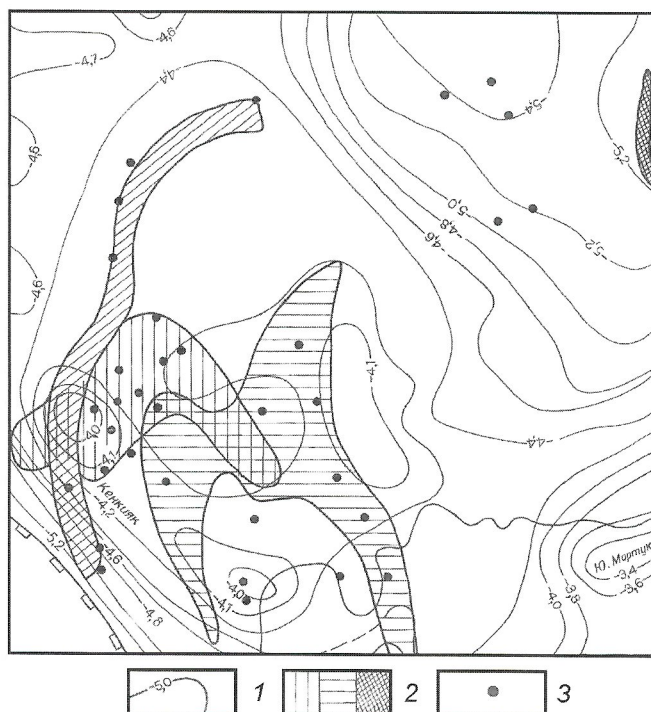


Рис. 8. Схема прогноза нефтяных залежей месторождения по изомерийным структурам многоспектральных изображений, соответствующим различным горизонтам:

1 — изолинии глубины залегания известнякового горизонта P_3 , км; 2 — нефтяные залежи; 3 — точки прогноза

ной среды (биологические, химические, физические характеристики). Исследование эрозии берегов, прибрежных вод, ландшафтных систем, болот, лесов и, вообще, получение пространственно распределенных данных невозможно без дистанционных методов. Особую ценность представляют временные ряды аэрокосмических изображений.

Имеющийся опыт использования данных дистанционного зондирования для изучения береговых зон позволяет выделить ряд задач, успешно решаемых с помощью аэрокосмической информации (см. таблицу).

К числу первостепенных задач изучения береговой зоны относятся систематизация и инвентаризация накопленных за многие десятилетия геологических, геохимических и других данных и создание специализированных региональных и общероссийских банков данных по прибрежно-морским зонам. Одна из важнейших составных частей таких банков данных — материалы специализированных аэросъемок береговой зоны морей России, имеющиеся в фондах НИИКАМ. Проблема создания специализированных региональных аэрокосмических баз данных рассмотрена на примере района Невская губа — восточная часть Финского залива.

Важное место региональные базы данных и базы знаний занимают и в концепции «синергетического» использования аэрокосмических снимков для комплексного изучения, мониторинга и картирования береговых зон. Научные основы этого методического направления разработаны во ВНИИКАМ в последние годы [10, 15]. В рамках синергетического подхода показано, что интегрированное исполь-

Использование аэрокосмической информации для изучения береговых зон

Задача	Выходные результаты	Спектральные диапазоны МДЗ
Оценка минеральных ресурсов	Картирование месторождений (типы песка на пляжах, гравий и т.д.)	Радиоволновой — SAR, видимый и ближний — ИК
Геоморфология и седиментология	Грязевые банки, болота, песчаные гряды, русла древних рек	SAR, видимый и ближний — ИК
Исследование эволюции берега	Эрозия и дефляция берегов, аккумуляционные процессы; техногенное изменение ландшафта из-за строительства гидросооружений	Видимый и ближний — ИК
Дифференциация видов прибрежной биомассы	Типы растительности. Карты водорослевого покрова	Видимый
Мониторинг гидрофизических характеристик прибрежных вод	Контроль параметров среды обитания объектов марикультуры, характеристики рекреационных зон. Прогноз неблагоприятных изменений параметров среды	ИК, видимый
Исследование динамических явлений в прибрежных зонах	Оценка скоростей поверхностных течений, перенос взвешенных веществ вдольбереговыми течениями, вихревыми структурами, линзами	Видимый и ближний — ИК, ИК, SAR
Мониторинг ледовой обстановки в прибрежных зонах	Распределение ледяного покрова, оценка толщины льда, наличия торосов, трещиноватости, сплошенности ледяного покрова	SAR, ИК, видимый
Наблюдение за массовым развитием водорослей	Обнаружение, оценка ареалов, прогноз развития	Видимый
Наблюдение за нефтяным загрязнением	Обнаружение, оценка площади, толщины slicka, прогноз распространения	SAR, ИК, УФ, видимый и ближний — ИК
Мониторинг качества воды	Оценка относительной прозрачности вод, концентрации общей взвеси и др. элементов экологического состояния водной среды	Видимый
Штормовые системы	Слежение, прогноз перемещения	ИК, видимый, SAR
Наводнения	Слежение. Прогноз ситуации. Оценка ущерба	Видимый и ближний — ИК, ИК, SAR
Мониторинг загрязнения прибрежных вод	Обнаружение загрязнения, определение источника. Прогноз распространения	Видимый и ближний — ИК, ИК, SAR
Тематическое картирование	Оценка хозяйственного использования земель, оценка антропогенной нарушенности. Рекомендации по хозяйственному использованию территорий	Видимый и ближний — ИК, ИК, SAR

Примечание. SAR — радиолокатор с синтезированной апертурой.

зование «синергетических матриц», «информационно-аналитических моделей» и баз знаний позволяют повысить эффективность решения «типовых» задач мониторинга береговых зон и прибрежных вод.

Подходы к решению важных «нетиповых» задач, связанных с аэрокосмическим экологическим мониторингом портовых комплексов, береговых зон вблизи них и судоходных трасс, рассмотрены в работах [8, 9, 10, 11, 12—15] применительно к Балтийскому морю. На основе результатов анализа уроков, связанных с крупной экологической катастрофой — аварией танкера «Престиж» у берегов

Испании и Франции, приведшей к загрязнению сотен километров береговой зоны, разработаны предложения по созданию специализированной всепогодной системы спутникового мониторинга наиболее напряженных судоходных трасс и объектов транспортной инфраструктуры у береговых зон [10, 11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анищенко В.С., Вадивасова Т.Е., Астанов В.В. Нелинейная динамика хаотических и стохастических систем. — Саратов, 1999.

2. *Афанасьев Н.Ф., Перцов А.В.* Новые направления в развитии исследований природной среды из космоса // Тр. Международного форума по проблемам науки, техники и образования / Под ред. В.П.Савиных, В.В.Вишневого. — М., 1999. С. 143—146.
3. *Афанасьев Н.Ф.* Закономерности формирования физических полей в минеральных системах // Вестник Санкт-Петербургского отделения Российской Академии естественных наук. — СПб., 1999. № 3, 4. С. 388—403.
4. *Аэрокосмические методы геологических исследований* // Под ред. А.В.Перцова. — СПб., 2000.
5. *Баласанян С.Ю.* Динамическая геоэлектрика. — Новосибирск: Наука, 1990.
6. *Болдырева Л.Б., Сотина Н.Б.* Концепция физического вакуума и экстрасенсорика. Проблемы биополя // Сборник докладов. — Ростов Ярославский, 1991. С. 82—90.
7. *Бычкова И.А., Викторов С.В., Сухачева Л.Л.* Аэрокосмический мониторинг водных ресурсов Санкт-Петербурга и Ленинградской области // Разведка и охрана недр. 1998. № 7—8. С. 42—44.
8. *Бычкова И.А., Викторов С.В.* Авария танкера «Престиж»: уроки для Балтийского моря // Сборник тезисов докладов на Международном экологическом форуме «День Балтийского моря» (Санкт-Петербург, 11—22 марта 2003 г.). С. 146.
9. *Викторов С.В., Бычкова И.А.* Портовые комплексы и судоходные трассы: взгляд из космоса // Терминал. 2003. № 1—2. С. 90—95.
10. *Викторов С.В., Бычкова И.А., Усанов Б.П.* О создании международной системы аэрокосмического мониторинга портовых комплексов, прибрежных зон и судоходных трасс Балтийского моря // Сборник тезисов докладов на Международном экологическом форуме «День Балтийского моря» (Санкт-Петербург, 11—22 марта 2003 г.). С. 147.
11. *Викторов С.В., Кацман Ф.М., Мужиков Н.В.* и др. О необходимости подписания межгосударственного соглашения по региону Балтийского моря «О создании мониторинга и систем обеспечения безопасности портовых комплексов и судоходных трасс...» // Сборник тезисов докладов на Международном экологическом форуме «День Балтийского моря» (Санкт-Петербург, 11—22 марта 2003 г.). С. 46—49.
12. *Геоиндикационное моделирование* / Под ред. Б.Н.Можаяева, Н.Ф.Афанасьева. — Л.: Недра, 1984.
13. *Перцов А.В., Гальперов Г.В., Антипов В.С.* и др. Металлогенические и тектономагматические исследования на основе материалов аэро- и космосъемок. — Л.: Недра, 1988.
14. *Шелаев И.А.* Введение в необратимую электродинамику. — Дубна, 1999.
15. *Victorov S.V., Bychkova I.A., Sukhacheva L.L.* Remote sensing and synergism in post-cold-war era marine sciences. Proc. of the 21th Annual International Conference of the Remote Sensing Society, 11—14 September 1995, Univ. of Southampton, UK. P. 987.

УДК 528.88:[551.462:551.35]

© Е.И.Кильдюшевский, Л.Л.Сухачева, 2004

Геология и геоэкология побережий и акваторий на основе использования материалов дистанционного зондирования

Е.И.КИЛЬДЮШЕВСКИЙ, Л.Л.СУХАЧЕВА

Важнейшая роль материалов дистанционного зондирования (МДЗ) при геологических и геоэкологических исследованиях суши в настоящее время общеизвестна — результаты отражены в многочисленных зарубежных и отечественных публикациях, методических руководствах и рекомендациях. В то же время возможности использования МДЗ при геологических и геоэкологических исследованиях побережий и открытых акваторий все еще недостаточно изучены. Здесь дистанционные методы не столь широко распространены.

Возможность получения геологической и геоэкологической информации по МДЗ в прибрежной зоне и на акваториях обусловлена следующими аспектами:

из космоса или с воздушных носителей можно получить непосредственное изображение прибрежной полосы суши и морского дна в зоне прибрежного мелководья и дешифровать нужные объекты;

на морской поверхности часто отражаются различные элементы геолого-геоморфологического строения морского дна или глубинные процессы, происходящие в недрах. По этим косвенным дешифровочным признакам, выявленным на МДЗ морской поверхности, можно установить их наличие;

использование активных радиолокационных методов позволяет вне зависимости от условий видимости проводить мониторинг водной поверхности: выявлять и следить за динамикой нефтяных загрязнений, исследовать динамику поверхностных вод и топографию дна;

водная толща — чрезвычайно активная и агрессивная среда, непосредственно влияющая на геолого-геоморфо-

логические и геоэкологические параметры морского дна и побережья. По выявленным на МДЗ гидрологическим характеристикам водной толщи можно во многих случаях объяснить протекающие в данном месте экзогенные процессы и спрогнозировать их направленность и некоторые количественные параметры;

многоспектральные МДЗ позволяют оценить параметры качества вод (относительную прозрачность водных масс, концентрацию общей взвеси и концентрацию фитопланктона);

для изучения динамики поверхностных вод и процессов переноса взвешенных осадков используются МДЗ естественных трассеров (взвеси, фитопланктон, температура морской поверхности, лед);

для изучения ареалов распространения промышленно важных водорослей в межприливных зонах морей и зоне сублиторали используются авиационные и спутниковые МДЗ высокого разрешения;

лазерное зондирование с воздушных носителей позволяет непосредственно измерять глубины (до десятков метров) и получать данные о характере донных грунтов и рельефе дна.

Таким образом, применение МДЗ в геологических и геоэкологических исследованиях морских побережий и акваторий имеет значительный потенциал.

Использование МДЗ в зоне прибрежной суши. В данном случае особых пояснений, очевидно, не требуется, так как и методы, и объекты, здесь присутствующие, и сама территория входят в сферу деятельности «сухопутных» ге-

ологов. Тем не менее, эта полоса, пограничная между сушей и морем, имеет многие специфические черты, обусловленные деятельностью моря, и поэтому также входит в сферу интересов и «морских» геологов.

Наиболее универсальный и широко распространенный объект всех морских побережий — террасы, образованные при более высоких стояниях уровня моря. Число их различно на разных участках побережья. В одних местах они образуют «лестницу террас», в других — лишь одну. Иногда террасы выражены очень хорошо, но часто верхние наиболее древние сильно разрушены эрозионно-денудационными процессами и специалисты часто расходятся в мнении о наличии или отсутствии таких террас, представленных неясными фрагментами, происхождение которых можно объяснить и другими, не связанными с деятельностью моря, процессами. Наиболее типичный случай — наличие двух террас — высокой (10–40 м) и низкой (2–5 м). Возраст высокой террасы в разных местах может быть различным, возраст низкой везде связывают с последним повышением уровня моря (фландрская трансгрессия). Морские террасы представляют собой выровненную полосу суши различной ширины, окаймляющую береговую линию и поднятую относительно последней на примерно одинаковую для данного участка высоту. Благодаря такой форме террасы хорошо отображаются на различных МДЗ. С внешней стороны они всегда ограничены уступом-клифом, по виду которого можно определить современное состояние побережья.

Если подножие клифа высокой террасы находится непосредственно в береговой зоне, т.е. в зоне современного воздействия моря, и абрадируется морем, то в этом случае говорят об активном клифе. Его наличие свидетельствует об абразионном типе побережья. Такой тип берега легко опознается на МДЗ по отсутствию низкой террасы и внешнему виду клифа — обрывистый, лишенный растительности, подножие его или находится в зоне уреза воды, или отделено от него и протягивается лишь узким пляжем, затапливаемым во время прилива.

Признак аккумулятивного типа берега — широкий песчаный пляж с широкой низкой террасой. Песчаный пляж всегда выделяется на МДЗ в виде светлой полосы различной ширины или с бесструктурным изображением, или, как в случае крупномасштабных аэрофотоснимков (АФС), с различимыми деталями строения: уступами размыва, пляжевыми фестонами, крупными валунами и т.д. Кроме песчаных, пляжи бывают галечные, валунные, глыбовые. Они обычно имеют незначительную ширину и приурочены к побережьям абразионного или смешанного типа. На крупномасштабных АФС здесь обычно фиксируется зернистая структура фотоизображения.

Для многих побережий весьма распространенное явление оползни. Они имеют разную природу, но одинаково опасны. Оползни легко опознаются на АФС по трещинам отрыва сползшего блока пород и аномальной структуре этого блока. Причиной возникновения оползня может быть подмыв морем неустойчивых пород, излишняя их обводненность, сейсмические толчки и др. Однако в любом случае необходимо свободное пространство, куда могло бы сползти тело оползня и заметное первоначальное гипсометрическое превышение его над линией берега.

При геологических исследованиях прибрежной суши в числе других задач может стоять вопрос о поисках погребенных прибрежно-морских россыпей, образовавшихся

при более высоких стояниях уровня моря и находящихся теперь в районе прибрежной части суши. В этом случае необходим анализ по МДЗ древних террасовых уровней и их конфигурации. Исходя из этого анализа, можно наметить участки наиболее вероятного расположения таких россыпей (рис. 1).

Изучение прибрежных террас по МДЗ может представить не только сведения о геоморфологии участка, но и ряд ценных материалов о стратиграфии и тектонической структуре района. Особенно большое значение это имеет для районов со слабой обнаженностью, т.к. клиф высокой террасы обычно обнажен или полностью, или частично. Путем дешифрирования перспективных АФС очень часто удается получить сведения о строении разреза и тектонической структуре участка.

При хозяйственном освоении морского побережья может возникнуть много вопросов, ряд которых можно решить на основе анализа МДЗ. Прежде всего, при планировании какого-либо крупного строительства в зоне побережья возникнет вопрос об устойчивости данного побережья и динамике его развития, т.е. необходима информация о расположении на этом побережье участков

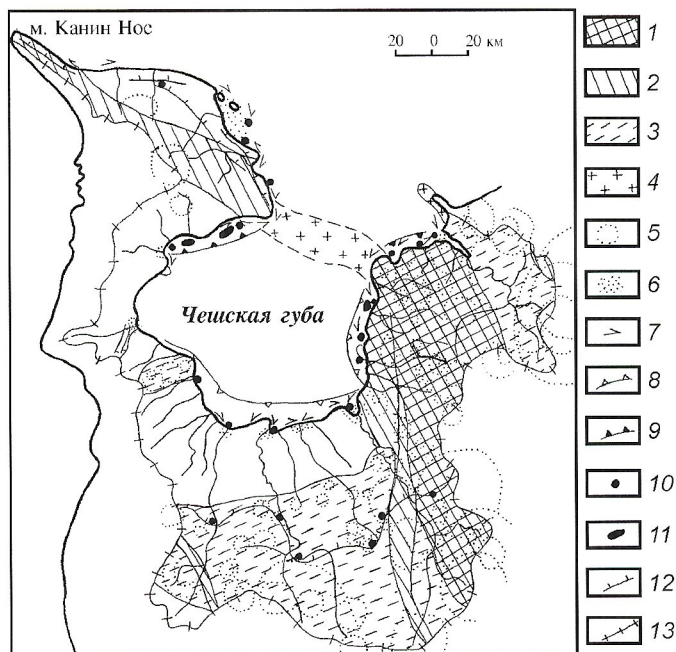


Рис. 1. Карта прогноза прибрежно-морских россыпей в районе Чешской губы Баренцева моря. По данным дешифрирования МДЗ:

области развития: 1 — наиболее продуктивных комплексов пород на суше; 2 — продуктивных комплексов; 3 — потенциально продуктивных; 4 — участки абразии на морском дне; 5 — кольцевые структуры; 6 — участки значительной аккумуляции в приустьевых зонах; 7 — направление вдольбереговых потоков наносов; 8 — районы накопления большой массы рыхлых отложений; 9 — районы наиболее вероятной концентрации полезных компонентов в современных прибрежно-морских россыпях; 10 — участки возможного местонахождения современных и погребенных прибрежно-морских россыпей; 11 — россыпепроявления по данным работ геологов ВНИИОкеангеология; 12 — уступы древних террас — индикаторы возможного местонахождения погребенных прибрежно-морских россыпей; 13 — линия водораздела

размывающегося и нарастающего берега и скорости этих процессов.

Такой вопрос можно решить с помощью ретроспективного анализа МДЗ данной территории за срок как можно более длительный. В общих чертах этот анализ сводится к отысканию на подобных материалах идентичных точек местности и определении расстояния от них до линии уреза воды в момент съемки. Далее путем несложных расчетов получают направление передвижения береговой линии за этот период и скорость передвижения. На основе этого можно дать достаточно обоснованный прогноз положения береговой линии на данном участке на длительный период.

Кроме определения стабильности участка побережья для его хозяйственного освоения важнейшее значение имеет его рельеф. Ясно, что для какого-либо строительства нужны более или менее горизонтальные площадки, или склоны незначительной крутизны. Расположенные поблизости от строений или дорог крутые склоны представляют опасность из-за возможных камнепадов, оползней, селей или снежных лавин. Все эти вопросы можно решить путем геоморфологического дешифрирования МДЗ и выдачи рекомендаций о возможности использования того или иного участка. Такие данные должны лежать в основе кадастровой оценки его стоимости.

Морские побережья — во многих случаях ценные рекреационные зоны. Кроме климата ценность их определяется тремя главными факторами: наличием участков для строительства различных объектов инфраструктуры, динамикой данного участка береговой зоны и наличием удобных пляжей. Все эти проблемы могут быть решены на основе анализа МДЗ. Наиболее удачные для таких исследований — материалы крупномасштабной (1:5 000—1:25 000) аэросъемки побережья и перспективной аэрофотосъемки. На основе их анализа можно не только выбрать наиболее подходящие участки для нового строительства, но и рекомендовать, в случае необходимости, место и тип защитных сооружений, в которых нуждаются многие курорты из-за интенсивного размыва пляжей и даже коренного берега, как это происходит во многих местах Черноморского побережья, побережий Калининградской области и Финского залива.

Материалы дистанционного зондирования, применяющиеся при изучении объектов в полосе прибрежной суши, могут быть разными в зависимости от целей и масштабов исследований. При обзорном изучении малоосвоенных территорий могут применяться космические снимки высокого разрешения (КФА-1000, КФА-3000). При более детальных исследованиях наиболее подходящими являются АФС крупных масштабов (1:5 000—1:25 000). Очень информативны и наглядны перспективные АФС, снятые со стороны моря. В последние годы в литературе часто описываются случаи применения для крупномасштабных аэрофотосъемок отдельных участков сверхлегких летательных аппаратов. С этих аппаратов (дельтапланы и др.) можно получать дешевые материалы вполне удовлетворительного качества. Одно из главных их преимуществ — оперативность. Например, разрушения вызванные штормом, можно зафиксировать сразу после его окончания, когда эти разрушения (например, размыв косы, бара и т.д.) еще не замаскированы другими процессами.

Использование МДЗ в зоне прибрежных мелководий. Методика аэрофотосъемки морского дна в зоне при-

брежных мелководий была разработана в Лаборатории аэрометодов АН СССР (в настоящее время ГУП НИИКАМ) в середине XX столетия [8].

Изображение морского дна можно получить и при съемке по стандартной методике, применяемой при аэрофотосъемке суши. Однако поскольку съемка в зоне мелководий ведется через толщу воды той или иной мощности, то и аэрофотосъемка здесь имеет некоторые специфические особенности. В результате исследования этой специфики была разработана специализированная методика, позволяющая получать изображения морского дна для значительно больших глубин, чем при применении стандартной аэрофотосъемки. Основными составляющими такой методики являются: подбор аэропленки, выбор оптимального времени съемки, освещенности, волнового режима на акватории и соблюдение некоторых особенностей фотохимического процесса при обработке пленки и печати.

Разработанная специализированная методика аэрофотосъемки морского дна была использована для геолого-геоморфологического изучения зон морских мелководий на многих акваториях СССР и России, результаты исследований изложены в многочисленных статьях и нескольких монографиях [3, 4, 7, 9, 11]. По данным АФС на Черном море изображения дна были получены до глубины 26 м, Каспийском — до 22 м, Японском — порядка 15—20 м, Балтийском — 11 м, Белом — 10 м, Азовском — 4—5 м. Для оз. Байкал, воды которого достаточно прозрачны, изображение дна зарегистрировано до глубин 40 м.

Наблюдаемый разброс значений «просматриваемых» глубин обусловлен гидрооптическими характеристиками водных масс исследуемого региона и, в какой-то степени, отражательными свойствами донных грунтов. Ширина полосы прибрежного мелководья, регистрируемая на аэрофотоизображениях морского дна зависит от прозрачности воды, характера волнения, качества аэрофотосъемки и приглубости берега. Иногда ширина этой полосы составляет лишь десятки или сотни метров, а иногда, на отдаленных побережьях — многие километры.

Скальный бенч. Наибольшее количество геологической информации можно получить на побережьях, окаймленных полосой скального бенча. Такие участки широко развиты, например, на побережьях Черного, Каспийского, Японского и Охотского морей.

Скальный бенч представляет собой почти горизонтальную площадку различной ширины, выработанную морской абразией в толще коренных пород. Эта площадка практически полностью обнажена и на ней можно отдешифрировать очень многие детали геологического строения: характер переслаивания, маркирующие горизонты, складки и разрывные нарушения разных порядков. При этом геологическое строение читается с такой четкостью и детальностью, которая почти никогда не встречается на снимках суши. Многие элементы геологического строения из полосы бенча протягиваются в сторону суши, что позволяет провести их экстраполяцию и правильно интерпретировать. В результате появляется возможность значительно дополнить или исправить составленные ранее для прилегающей суши геологические карты. Из этого видно, что АФС прибрежного мелководья могут и должны успешно применяться при геологической съемке, геологическом доизучении территорий, ревизии ранее составленных геологических карт. Опыт наших исследований свидетельствует о том, что практически все ранее

составленные карты содержат существенные ошибки, которых можно было бы избежать при наличии у составителей карт АФС прибрежного мелководья.

Следовательно, при всех работах в зоне морских побережий, окаймленных полосой скального бенча, проводящихся с целью составления или ревизии геологических карт, должны обязательно использоваться АФС морского дна крупного масштаба (1:5 000—1:25 000).

Побережья аккумулятивного типа. Для таких побережий характер информации, который можно получить по МДЗ, иной. Здесь практически отсутствует информация геолого-структурного плана. Основная информация — состав донных грунтов и динамика побережья. На крупномасштабных снимках достаточно уверенно выделяются песчаные, илистые, валунные и галечные грунты, которые хорошо различаются по фототону и текстуре изображения. Однако здесь следует помнить, что увеличение глубины моря на участке песчаного дна приводит к постепенному потемнению фототона, который становится аналогичен таковому на участке илистого дна. Если учесть, что с увеличением глубины во многих случаях увеличивается заиленность донного грунта, то, следовательно, нужно очень осторожно подходить к использованию фотометрического способа определения глубин по АФС. Такой способ исходит из наличия закономерной связи между нарастанием глубины моря и потемнением фототона. Поэтому он должен работать только в случае сохранения состава донного грунта независимо от глубины. К сожалению, опыт морских работ подсказывает, что с увеличением глубины моря состав донных грунтов и их цвет почти всегда изменяются.

Динамика побережья. Динамика побережья, очевидно, один из главных аспектов, т.к. от этого зависит устойчивость побережья и направленность его хозяйственного использования. Основным материалом для подобного рода исследований служат АФС и КС прибрежного мелководья.

По таким снимкам можно определить не только состав донных грунтов, но и наличие и характер аккумулятивных форм донного рельефа, а по ним наличие или отсутствие вдольберегового потока наносов, его мощность, направленность, места зарождения потока, его подпитки и разгрузки. Ретроспективный анализ указанных снимков позволяет установить изменения в характере вдольберегового потока наносов, места размыва или нарастания берега и скорость этих процессов, а значит, и прогнозировать изменения побережья.

Примеры таких снимков приведены на рис. 2 (см. вставку в середине журнала). Здесь на подводном склоне отчетливо видны серии подводных валов. Известно, что такие валы всегда образованы песком. При этом наличие валов свидетельствует, что такой песок имеет размеры песчинок от 0,1 до 0,5 мм [5]. Само наличие песчаных подводных валов говорит о состоянии динамического равновесия подводного склона на данном участке, а форма валов указывает направление перемещения наносов. Серии прямолинейных валов, параллельных берегу, представленных на рис. 2, б, 1, связано с наличием вдольберегового перемещения наносов, а серии валов извилистой формы с преобладающим поперечным перемещением наносов.

Использование МДЗ в зоне шельфовых акваторий. Шельфовые акватории отличаются от рассмотренных зон тем, что морское дно здесь перекрыто значительной по мощности (до 100—150 м) толщей воды, вследствие чего оно непосредственно не просматривается. Однако исполь-

зование МДЗ, полученных при благоприятных погодных условиях, в данном случае позволяет получить полезную информацию и новые знания путем исследования различных особенностей строения или состояния водной поверхности и водной толщи, вызванных влиянием геолого-геоморфологического строения морского дна и геоэкологической обстановкой. Следует отметить, что поскольку в данной ситуации приходится учитывать возможное влияние множества взаимосвязанных факторов, дешифрирование и тематическая интерпретация МДЗ шельфовых акваторий достаточно сложная задача.

Среди явлений и объектов морского дна, влияющих на строение или состояние поверхности моря и водной толщи, можно выделить следующие:

- подводные извержения вулканов, выражающиеся выбросами пемзы, плавающей на поверхности, бурным выделением газов, интенсивными тепловыми аномалиями, изменениями цвета и прозрачности воды;

- выделение газов из трещин в коренных породах морского дна, сопровождающееся часто отрицательными температурными аномалиями на морской поверхности, вследствие захвата поднимающимися газовыми пузырьками холодных придонных вод;

- субаквальные выделения теплых или холодных подземных вод, вызывающих соответствующие аномалии на морской поверхности;

- просачивания нефти из морского дна, приуроченные к постоянному месту и постоянно образующие пленки нефти на морской поверхности;

- гравитационные аномалии, вызывающие топографические аномалии уровня морской поверхности, фиксирующиеся высокоточными лазерными спутниковыми измерениями;

- крупные аномалии в рельефе морского дна, также вызывающие соответствующие аномалии в топографии морской поверхности;

- подводные рифы и банки, вызывающие изменения в структуре поверхностных течений и волнения;

- аномалии электромагнитного поля, влияющие на концентрацию планктона и минеральной взвеси, и, соответственно, на прозрачность и цвет воды.

В то же время, среди явлений на поверхности и внутри водной толщи, влияющих на геолого-геоморфологическое строение морского дна и геоэкологическую обстановку, можно выделить следующие:

- ветровые волны и волны зыби, оказывающие воздействие на дно посредством перемещения частиц донных грунтов (как известно, глубина подобного воздействия измеряется половиной длины волны, возможной в условиях данной акватории, во многих местах такие волны влияют на дно в пределах всего шельфа);

- постоянные течения, имеющие во многих местах достаточную силу для сортировки донных грунтов и формирования их состава (постоянные течения также оказывают сильное действие на температуру водной толщи, например Гольфстрим), и перенос взвешенного и растворенного вещества, в т.ч. и загрязнителей;

- приливно-отливные течения во многих местах достаточно мощные для перемещения даже довольно крупного обломочного материала, не говоря уже о взвеси.

В последние десятилетия МДЗ в пределах шельфовых и океанических акваторий широко используются океанологами. На основе таких материалов изучаются течения, океанические фронты и вихреобразные структуры, изменчи-

вость температуры поверхности океана (ТПО), распределение взвешенных веществ и фитопланктона, характеристики ледового покрова. Перечисленные параметры имеют непосредственное отношение и к геологии.

Использование МДЗ с целью чисто геолого-геоморфологического изучения шельфовых и океанических акваторий до сих пор ограничено. Имеются примеры применения радиолокационных снимков для изучения по изменчивости характеристик волнения поверхности моря, рельефа дна, естественных высачиваний нефти; лазерного профилирования с воздушных носителей для определения глубин, донного рельефа и характера донных грунтов; тепловых снимков для выявления мест разгрузки субмаринных термальных и холодных грунтовых вод, выявления придонных газовых «факелов», мультиспектральных фото- и сканерных снимков для определения особенностей переноса взвешенных наносов.

Кроме того, существует ряд предпосылок, свидетельствующих о том, что по МДЗ шельфовых акваторий можно по аналогии с суши отдешифровать сеть линейных неоднородностей водной поверхности (линеаментов), соответствующих разрывным нарушениям в толще коренных пород морского дна.

Эти предпосылки основываются на том, что тектонические разрывные нарушения по современным представлениям являются энерго-активными зонами. По таким разрывам постоянно или эпизодически происходит выделение веществ (газы или минерализованные растворы) или различных видов энергии (тепловая, сейсмическая, акустическая), сопровождающееся возникновением аномалий геофизических полей (электромагнитное, гравитационное), в результате чего в толще воды и на ее поверхности возникают аномалии цвета, прозрачности, микрорельефа и т.д., которые отображаются на МДЗ. Выявив и закартировав подобные аномалии на поверхности моря, тем самым можно отдешифровать сеть тектонических разрывных нарушений в толще пород морского дна за пределами его непосредственной видимости. По предварительным результатам, проведенных нами исследований, это представляется возможным для всего континентального шельфа.

Следует подчеркнуть, что подобный метод дает площадную картину сети разрывных нарушений, чего не могут дать точечные или профильные морские геолого-геофизические методы.

Все эти методы, кроме лазерного зондирования, основываются на выявлении косвенных дешифровочных признаков, по которым можно судить о наличии на морском дне тех или иных геологических объектов, вызывающих различные аномалии в приповерхностном слое моря или на водной поверхности, которые отображаются на МДЗ. Выявление подобных аномалий, их интерпретация и картирование существенно повысят нагрузку геологической карты данного района.

Постановка такой задачи вызвана тем, что в соответствии с современными требованиями к геологическим картам масштаба 1:1 000 000, листы данной карты должны охватывать как сушу, так и внутренние и внешние акватории в составе единого комплекта. При этом регламентируется обязательное использование МДЗ и составление в рамках опережающих работ дистанционной основы.

Однако методика составления дистанционной основы пока разработана только для суши. Для акваторий оно несравнимо сложнее в силу ряда причин. Вместе с тем, решение этой задачи может открыть новую обширную область

применения МДЗ и существенно повысить детальность и достоверность геологических карт акваториальных областей.

Геоэкологические исследования на основе использования МДЗ. В настоящее время все большую актуальность приобретают работы геоэкологической направленности. Динамика побережий, о которой уже упоминалось, напрямую относится к данному разделу геологических исследований. Кроме геоэкологического состояния твердого субстрата (коренные и рыхлые горные породы) в зоне морского побережья и прибрежного мелководья можно говорить еще о состоянии самой водной толщи и подводной растительности, которое непосредственно отображено на АФС.

Как известно, основное количество загрязнений поступает в море вместе с речным стоком. Это преимущественно загрязнители бытового, промышленного и сельскохозяйственного происхождения. В зоне геохимического барьера, где происходит смешение пресных речных и морских вод, наблюдается высокая концентрация химических элементов. Выносы речных вод, как правило, хорошо идентифицируются на АФС и КС. Пример регистрации с ИСЗ зоны смешения морских и речных вод в районе выноса р. Кура (западное побережье Каспийского моря) приведен на рис. 3 (см. вставку в середине журнала).

Важнейший элемент геоэкологической обстановки в зоне мелководий — прибрежно-водная (тростники) и подводная (водоросли) растительность, которая во многих случаях сама является очень ценным сырьем для многих отраслей промышленности. Однако более важно то, что она служит местом нерестилища и выгула молоди многих пород промысловых рыб. Следовательно, учет запасов этой растительности и контроль за ее состоянием — важная задача геоэкологического мониторинга в зонах морских мелководий. Аэрофотоснимки зоны прибрежного мелководья — великолепный инструмент таких исследований [9]. В последние годы для этой цели широко применяются самолетные гиперспектральные видеоспектрометры, типа CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager) [12]. Пример мониторинга водорослевого покрова приведен на рис. 4 (см. вставку в середине журнала). Сопоставление контуров зарослей ламинарии на одном из участков подводного склона западного побережья Южного Сахалина за длительный промежуток времени (1967—1990 гг.) показал, что, несмотря на некоторые колебания, контур ареала в общем устойчив. Следовательно, каких-либо существенных и направленных изменений состояния природной среды, важных для такого вида подводной растительности, здесь не произошло.

По аэрокосмическим материалам представляется возможным исследовать изменчивость береговой зоны, динамику водных масс и взвешенных осадков, условия перемещения осадков в районах размещения портовых сооружений, оценить объем перемещаемых осадков в различных гидрометеорологических условиях и прогнозировать заносимость портов. Обычно на значительном пространстве вблизи портов нарушается естественный и формируется свой гидродинамический режим береговой зоны, нарушается баланс наносов и ухудшаются показатели качества прибрежных вод. Пример спутникового изображения участка побережья Балтийского моря в районе порта Вентспилс, полученного с японского ИСЗ ADEOS/AVNIR 8 апреля 1997 г., представлен на рис. 5 (см. вставку в середине журнала). Заполнение входящего угла южного мола порта Вентспилс указывает

направление перемещения наносов. На этом участке побережья наблюдается аккумуляция наносов, а за северным молом — размывание. Спутниковое изображение свидетельствует о том, что вдольбереговой поток наносов перемещается на север, охватывая зону шельфа до глубин 12—13 м. Воздействие южного мола на береговые процессы отмечается на расстоянии до 6 км к югу.

Вопросы обнаружения и оценки интенсивности загрязнения приповерхностного слоя моря взвешенными веществами тесно связаны с экологическими проблемами. Оцениваемые по данным дистанционного зондирования в оптическом диапазоне спектра глубина прозрачности и общее содержание взвеси являются элементами экологического состояния водоема и показателями качества вод. Взвешенные наносы могут служить также косвенным индикатором повышенного содержания в воде соединений тяжелых металлов, хлорорганических соединений, бактериальных и других загрязнений, которые сопутствуют им, и (или), адсорбируясь на взвесьях, переносятся вместе с ними. Многолетние ряды МДЗ позволяют исследовать изменчивость экологического состояния акваторий.

Исторически начало аэрокосмического мониторинга акватории Невской губы и восточной части Финского залива совпало с началом в конце 70-х годов. прошлого столетия, строительства комплекса защитных сооружений (КЗС) г.Санкт-Петербург от наводнений.

Аэрокосмическая база данных НИИКАМ содержит материалы многолетних дистанционных наблюдений акватории и побережья Невской губы и восточной части Финского залива за период с конца 50-х гг. XX в. по настоящее время, космические изображения получены с различных отечественных и зарубежных спутниковых систем: КОСМОС, ОКЕАН, РЕСУРС, LANDSAT/MSS, NOAA/AVHRR, SPOT/HVR, ADEOS/AVNIR, ERS/SAR, JERS/SAR, LANDSAT/TM, SeaWiFS, MODIS [1, 10].

Антропогенное влияние на акваторию и берега Финского залива началось практически с момента образования г.Санкт-Петербург, хотя и касалось в этот период лишь района дельты р.Нева. Более существенные изменения произошли позднее в связи со строительством ряжевых преград, фортов и берегозащитных сооружений, имеющих на многих участках побережья.

В конце XIX столетия в Невской губе в Северных и Южных воротах было построено 17 фортов на искусственных островах и нескольких рядах подводных преград, возвышающихся над дном на 3—4 м с глубиной воды над ними 0,5—2,0 м, общей протяженностью около 102 км. В это же время был прорыт морской канал длиной 30 км, от Морского торгового порта до Кронштадта.

Искусственные преграды, форты в сочетании с многочисленными отмелями практически превратили Невскую губу в почти замкнутый бассейн. Они ограничили проникновение морских ветровых волн Финского залива на ее акваторию, сократили водообмен с заливом, изменили план и скорости течений в зоне фортов и преград, оказали влияние на литодинамические процессы.

С конца 60-х годов XX в. на северном и южном побережьях Невской губы начались работы по намыву городских территорий под жилищное строительство. На основе анализа ряда многолетних МДЗ Невской губы и восточной части Финского залива удалось установить, что в период 70—80 годов основной причиной интенсивного загрязнения водной среды взвешенными веществами являлись,

проводимые в Невской губе, крупномасштабные гидротехнические работы по вычерпыванию донных отложений и намыву городских территорий. Эти десятилетия характеризовались высоким уровнем загрязнения вод тонкодисперсными алевритовыми осадками, а также повышенным содержанием сопутствующих гидрохимических поллютантов [1, 2, 14, 19], адсорбированных взвесью (соединений тяжелых металлов, хлорорганических и др. веществ). Особенно высокие значения концентраций взвеси и низкая относительная прозрачность вод наблюдалась вдоль побережий Невской губы, концентрации взвеси достигали здесь 200—300 мг/л и более, а прозрачность на отдельных участках составляла 0,1—0,02 м [10, 13].

По данным управления «Спецгидрострой», технологические потери при проведении грунтонамывных работ оценивались в 10% от объема выемки грунта и составляли в среднем за 10 лет (1980—1989 гг.) 820 тыс.т в год, или 3094 т в день, при среднем значении безледоставного периода для Невской губы 265 суток. Примерно столько же поступало взвешенных частиц за счет свалки грунта (до 1988 г.) в Невскую губу: 847 тыс.т в год или 3196 т в день. В то же время суммарный природный вынос частиц при среднемноголетней водности р.Нева составляет 820 тыс.т в год.

В конце 70-х годов началось строительство комплекса защитных сооружений (КЗС) г.Санкт-Петербург от наводнений.

Особенности динамики поверхностных вод и переноса взвешенных осадков по МДЗ лучше всего прослеживались в десятилетний период наблюдений (1980—1990 гг.), соответствующий установившемуся квазипостоянному режиму проведения грунтонамывных работ. В этих условиях в районе перманентно наблюдались высокие концентрации взвешенных осадков, которые служили естественным трассером поверхностных течений [14].

Примеры, отражающие состояние акватории Невской губы и восточной части Финского залива при воздействии различных природных и антропогенных факторов представлены на рис. 6 (см. вставку в середине журнала). Концентрации общей взвеси (см. рис. 6, Б) оценивались на основе усовершенствования разработанных ранее дистанционных методов учета параметров качества вод [10]. При этом автоматическая классификация без обучения проводилась с использованием программ статистической обработки изображений ГИС оболочки IDRISIW.

На рис. 6, А, Б приведено распределение взвешенных веществ в Невской губе и восточной части Финского залива в летний период при устойчивой стоковой ситуации в условиях временного изменения режима течений вследствие перекрытия Северных Ворот Невской губы в процессе возведения северного створа КЗС (1985—1986 гг.). В Невской губе ведутся интенсивные работы по намыву городских территорий, в вершине Финского залива наблюдается интенсивное развитие сине-зеленых водорослей. В районе Морского канала идентифицируется выход к поверхности смешанных солоноватых вод, обусловленных подтоком с запада в губу по дну канала вод Финского залива.

Космическое изображение, представленное на рис. 6, В относится к ранней весне — р.Нева только что освободилась ото льда и грунтонамывные работы еще не начались. Построен участок дамбы от платформы Горская до форта 7. В Невской губе вследствие установившейся исключи-

тельно высокой прозрачности вод и низкого стояния уровня (–20 см БС) практически повсеместно просматривается дно: отвалы фарватеров, мели и отмели. Повышенные значения концентраций взвеси наблюдаются только в юго-западном углу акватории и районе форта 7.

На космическом изображении высокого разрешения за 5 июля 1989 г. (см. рис. 6, Г) отражена стоковая ситуация. В Невской губе проводятся интенсивные работы по намыву городских территорий. Строительство комплекса защитных сооружений г. Санкт-Петербург от наводнений, построенного примерно на 70 %, практически приостановлено. Как и в случае, описанном выше, отмечается подток солоноватых вод по дну Морского канала.

На основе аэрокосмического мониторинга Невской губы в 90-е годы XX в. выявлено относительное улучшение экологического состояния акватории по сравнению с 80-и годами. В результате сокращения с 1990 г. и почти полного прекращения в 1993 г. этого вида гидротехнических работ загрязнение акватории Невской губы и восточной части Финского залива взвешенными осадками существенно уменьшилось. Кроме того, поступление взвеси уменьшилось и за счет того, что в 1988 г. были запрещены отвалы загрязненных донных грунтов, извлекаемых из водотоков города при их очистке, в акваторию Невской губы [10, 15].

Снижение уровня антропогенного загрязнения Невской губы взвешенными веществами можно считать одним из факторов, повлиявших на относительное улучшение экологического состояния акватории и по другим показателям — содержанию соединений тяжелых металлов, бактериальным загрязнениям и другими, что подтверждается данными судовых наблюдений.

Опыт показывает, что, интегрирование спутниковых технологий и традиционных методов мониторинга прибрежных районов, акваторий и водных объектов существенно повышает эффективность геоэкологических исследований. Использование методов дистанционного зондирования позволяет получить новые знания, необходимые при решении задач рационального природопользования, устойчивого развития регионов и охраны окружающей среды.

Таким образом, в заключение следует отметить, что оптимальным материалом для детального исследования геологии и геоэкологии зоны прибрежного мелководья являются данные крупномасштабной специализированной аэрофотосъемки. Однако эти материалы имеют и существенные недостатки: сложность организации такой аэрофотосъемки и ее достаточно высокая стоимость.

Таких недостатков в значительной степени лишены космические снимки. Если речь идет о более мелкомасштабных исследованиях, то здесь основной упор должен быть сделан на КС. Аэрофотоснимки целесообразно использовать в качестве дополнительного материала на наиболее важных и сложных или на ключевых участках.

На участках обширных мелководных акваторий КС — совершенно незаменимый материал. Так, в работе [6] описан комплект карт геолого-геоморфологического и геоэкологического содержания, составленный по КС для акватории северо-восточного Каспия. Существенное преимущество КС — большая обзорность и одномоментный охват значительных территорий. На космических снимках высокого разрешения (КФА-1000, КФА-3000) дно в зоне прибрежного мелководья изображается лучше, чем на сним-

ках среднего разрешения (КАТЭ-200). Однако по качеству и детальности изображения дна АФС в любом случае превосходят КС. Следует отметить, что при этом для проведения корректного сравнения необходимо учитывать и влияние других факторов (изменчивость гидрооптических параметров водных масс, изменчивость атмосферных параметров, состояние водной поверхности и т.д.). Неплохие перспективы в этом отношении имеют, очевидно, КС сверхвысокого разрешения типа IKONOS и Quick Birds, но пока они не дошли еще до широкого потребителя и, кроме того, достаточно дороги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычкова И.А., Викторов С.В., Кильдюшевский Е.И., Сухачева Л.Л. Использование материалов дистанционного зондирования при изучении морских побережий и акваторий / Аэрокосмические методы геологических исследований. — СПб., 2000.
2. Викторов С.В., Сухачева Л.Л. Что отражают космические снимки Невской губы // Энергия. 1992. № 6. С. 77—79.
3. 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.
4. Гурьева З.И., Петров К.М., Шарков В.В. Аэрофотометоды геолого-геоморфологического исследования внутреннего шельфа и берегов морей. — Л.: Недра, 1976.
5. Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. — М.: Изд-во АН СССР, 1962.
6. Кравцова В.И., Антонова С.Ю. Применение многозональной съемки для изучения и картографирования мелководий (на примере северо-восточного Каспия) // Изв. вузов. Геология и разведка. 1974. № 2. С. 78—75.
7. Применение аэрометодов для геологических исследований морского дна. Краткое методическое руководство / Под ред. В.В.Шаркова, Д.М.Кудрицкого. — М.: Гостантехиздат, 1956.
8. Применение аэрометодов для исследования моря / Под ред. В.Г.Здановича. — М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963.
9. Сорокин Л.А., Ваниюхин Б.И., Кильдюшевский Е.И., Гуревич Д.С. Методическое руководство по ландшафтному картированию морских макрофитов и оценка их запасов с применением аэрофотосъемок. — Мурманск, 1987.
10. Сухачева Л.Л. Исследование разномасштабной пространственно-временной изменчивости полей взвеси в восточной части Финского залива по данным многолетних аэрокосмических наблюдений // Исследование Земли из космоса. 1996. № 5. С. 85—93.
11. Шарков В.В., Гурьева З.И., Кильдюшевский Е.И. Аэрокосмические методы геологического изучения шельфа. — Л.: Недра, 1985.
12. Ralph Garano, Greg Gaston and Ofer Heyman. Remote Sensing Systems for identifying and Mapping Aquatic Vegetation in Estuaries and Other Near-shore Environment Along the Pacific Coast / Final Report. NASA Earth Science Enterprise. Commercial Remote Sensing program. Affiliated Research Center. Oregon State University, 1999.
13. Sukhacheva L.L. Remote sensing of temporal and spatial variability of suspended matter pollution in the Eastern part of the Gulf of Finland // Proceedings of EARSeL Workshop on: «Pollution Monitoring and GIS», Brandys-nad-Labem, Czech Republic, 15—18 May 1995. P. 106—114.
14. Sukhacheva L.L. The Water Dynamic Processes Compiling and Mapping on the Base of the Long Term Remotely Sensed Data: the Eastern Gulf of Finland Case / Proceedings of the 18th ICC/ACI—International Cartographic Conference, Stockholm, Sweden. 1997. Vol. 3. P. 1712—1719.
15. Sukhacheva L.L., Bychkova I.A., Victorov S.V. Multiyear Remotely Sensed Data in Support of Monitoring, Management and Protection of the Eastern Gulf of Finland Coastal Zone // 2002 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium and the 24th Canadian Symposium on Remote Sensing. June 24—28. Westin Harbour Castle Hotel & Conference Center. Toronto, Ontario, Canada. 0-7803-7537-8/02. 2002 IEEE (CD ROM).

Выявление и оценка рудоперспективных площадей по ареалам современной активизации недр с использованием полихронной тепловой космической съемки

В.С.АНТИПОВ

Направление работ по выявлению рудоперспективных площадей на основе локализации ареалов современной активизации недр — логическое продолжение исследований связей неотектонических процессов с размещением месторождений. Публикации, описывающие взаимоотношения неотектоники и объектов минерализации [6], а также сведения, указывающие на важность фактора полихронности геологических процессов для образования наиболее крупных месторождений [7], и результаты полевых работ автора, при которых установлена пространственная связь геофизических, геохимических, космогеологических аномалий, обусловленных современными процессами недр, с объектами минерализации [1—3], дают основание для использования явлений современной активизации при прогнозировании и поисках полезных ископаемых. С целью обнаружения рудоперспективных ареалов современной активизации с наименьшими затратами времени и средств разработана полихронная тепловая космическая съемка (ПТКС).

Под такой съемкой понимаются специализированные выбор и обработка разновременных сеансов космической съемки, выполненных в тепловом (дальнем инфракрасном) диапазоне электромагнитных волн, при котором формируется банк данных для картирования радиоактивных (тепловых) аномалий поверхности Земли. В процессе ПТКС выявляются сеансы съемки с благоприятными метеорологическими условиями: отсутствие облачности, сильного ветра, локальных тепловых фронтов, осадков незадолго до съемки. При отсутствии интенсивных помех, оптимальном времени съемки и полном цикле обработки информации (маскирование водных поверхностей и облачности, снятие регионального тренда температур, геометрическая коррекция данных, приведение изображения в картографическую проекцию и др.) выявляются рудоконтролирующие и рудоперспективные аномалии радиоактивных температур. По данным ПТКС обнаружены аномалии радиоактивных температур, которые контролируют размещение крупных рудных объектов России: Гайского меднорудного узла, Федорово-Панского платинометалльного узла, Печенгского узла локализации медно-никелевых руд, Мончегорского Cu-Ni-Cr-платинометалльного и Онежского U-V-благороднометалльного районов, Костомукшинского железорудного узла, района Бураковской расслоенной интрузии с месторождениями титана и хрома, золоторудных узлов Мурунтау и Кокпатав в Узбекистане, Норильского и Талнахского Cu-Ni-благороднометалльных рудных узлов, а также рудоперспективные аномалии в разных регионах. Области повышенных и аномальных значений радиоактивных температур занимают площади десятки—сотни квадратных километров. Амплитуда аномалий от десятых долей — до 2°. Эти аномалии ПТКС относятся к категории эндодинамических, т.е. вызванных современными естественными геологическими процессами недр Земли. Эндодинамические рудоконтролирующие и рудоперспективные аномалии могут выявляться и при использовании специальных модификаций геофизических, геохимических методов [1, 3].

Оценка рудоперспективности эндодинамических аномалий требует определения металлогенической принадлежности и вероятной величины ожидаемого оруденения. Эта информация может быть получена при использовании геохимических данных совместно с геологическими сведениями о территории работ. Для нахождения ожидаемой величины оруденения предложена теоретическая шкала градации месторождений по их размерности и определена аналитическая форма связи степени геохимической специализации рудных районов с вероятной величиной наиболее крупного месторождения [2].

Теоретические коридоры размерности месторождений. Теоретическая шкала размерности месторождений (табл. 1) получена при сопоставлении кларков элементов верхней части континентальной коры K_v (табл. 2) с запасами соответствующих месторождений различных категорий размерности. Границами коридоров размерности являются функции индексов аккумуляции от 10^5 до 10^{12} (рис. 1). Подобный расчет индексов аккумуляции был опубликован [8, 5], однако вопрос о теоретических коридорах размерности месторождений данные авторы не обсуждали.

Теоретические коридоры размерности месторождений приведены на рис. 1. Из анализа этого рисунка следует, что пока не выявлены гигантские (по классификации в соответствии с коридорами размерности) месторождения Mg, K, Na, Ba, F, Sr, B, Nb, Zn, Li, Cu, W, Be. Следует ожидать, что в XXI в. могут быть обнаружены новые типы месторождений этих металлов и неметаллов с гигантскими запасами. Кроме того, в соответствии с коридорами размерности возможен теоретический расчет запасов месторождений различных категорий крупности для элементов не только интенсивно извлекаемых из недр, но и пока не востребованных.

Геохимическая специализация районов локализации месторождений различной величины. Практика геологоразведочных работ показала, что в районах, характеризующихся кларковыми и менее чем кларковыми концентрациями рудогенного металла, нет средних и более крупных месторождений этого металла. На таких территориях встречаются его малые месторождения и рудопроявления. Там же, где установлены значительные месторождения (средние и крупнее), отмечается существенная геохимическая специализация* территории локализации рудного объекта. Поэтому, как следует из анализа рис. 1, зависимость между K_v различных элементов и запасами соответствующих месторождений разных классов крупности содержит функцию индекса аккумуляции $Q/K_v=10^8$, которая названа закономерностью максимальной концентра-

*Под геохимической специализацией здесь и далее имеются в виду соотношения с K_v средних значений (в оптимальном варианте средневзвешенных) содержаний элемента в геологических образованиях рудного (потенциально рудного) района в целом, включая рудные и окколорудные его компоненты. Площадь рудных районов обычно составляет 1—10 тыс. км², глубина — километры.

1. Теоретическая (коридоры — см. рис. 1) размерность месторождений (тонны, А) в сопоставлении с размерностью, принятой в Министерстве природных ресурсов России в 1998 г. (Б)

Элементы	Месторождения					
	Крупные	Средние	Малые (мелкие)			
	А	Б	А	Б	А	Б
Pt	30÷300	>30	3÷30	3÷30	0,3÷3	<3
Au	200÷2·10 ³	>50	20÷200	5÷50	2÷20	<5
Ag	6·10 ³ ÷6·10 ⁴	>3·10 ³	6·10 ² ÷6·10 ³	5·10 ² ÷3·10 ³	60÷600	<500
Hg	6·10 ³ ÷6·10 ⁴	>15·10 ³	600÷6·10 ³	700÷15·10 ³	60÷600	<700
Bi	2·10 ⁴ ÷2·10 ⁵	>15·10 ³	2·10 ³ ÷2·10 ⁴	1·10 ³ ÷15·10 ³	200÷2·10 ³	<1000
Sb	3·10 ⁴ ÷3·10 ⁵	>1·10 ⁵	3·10 ³ ÷3·10 ⁴	1·10 ⁴ ÷1·10 ⁵	3·10 ² ÷3·10 ³	<1·10 ⁴
W	2·10 ⁵ ÷2·10 ⁶	>1·10 ⁵	2·10 ⁴ ÷2·10 ⁵	1·10 ⁴ ÷1·10 ⁵	2·10 ³ ÷2·10 ⁴	<1·10 ⁴
Mo	2·10 ⁵ ÷2·10 ⁶	>5·10 ⁴	2·10 ⁴ ÷2·10 ⁵	5·10 ³ ÷5·10 ⁴	2·10 ³ ÷2·10 ⁴	<5·10 ³
Ta	2·10 ⁵ ÷2·10 ⁶	>5·10 ³	2·10 ⁴ ÷2·10 ⁵	500÷5·10 ³	2·10 ³ ÷2·10 ⁴	<500
Be	3·10 ⁵ ÷3·10 ⁶	>1·10 ⁴	3·10 ⁴ ÷3·10 ⁵	500÷1·10 ⁴	3·10 ³ ÷3·10 ⁴	<500
U	3·10 ⁵ ÷3·10 ⁶	>2·10 ⁴	3·10 ⁴ ÷3·10 ⁵	5·10 ³ ÷2·10 ⁴	3·10 ³ ÷3·10 ⁴	<5·10 ³
Sn	3·10 ⁵ ÷3·10 ⁶	>5·10 ⁴	3·10 ⁴ ÷3·10 ⁵	5·10 ³ ÷5·10 ⁴	3·10 ³ ÷3·10 ⁴	<5·10 ³
Co	1·10 ⁶ ÷1·10 ⁷	>15·10 ³	1·10 ⁵ ÷1·10 ⁶	2·10 ³ ÷15·10 ³	1·10 ⁴ ÷1·10 ⁵	<2·10 ³
B	2·10 ⁶ ÷2·10 ⁷	>2·10 ⁷	2·10 ⁵ ÷2·10 ⁶	5·10 ⁶ ÷2·10 ⁷	2·10 ⁴ ÷2·10 ⁵	<5·10 ⁶
Ni	2·10 ⁶ ÷2·10 ⁷	>2·10 ⁵	2·10 ⁵ ÷2·10 ⁶	3·10 ⁴ ÷2·10 ⁵	2·10 ⁴ ÷2·10 ⁵	<3·10 ⁴
Pb	2·10 ⁶ ÷2·10 ⁷	>1·10 ⁶	2·10 ⁵ ÷2·10 ⁶	1·10 ⁵ ÷1·10 ⁶	2·10 ⁴ ÷2·10 ⁵	<1·10 ⁵
Cu	3·10 ⁶ ÷3·10 ⁷	>1·10 ⁶	3·10 ⁵ ÷3·10 ⁶	1·10 ⁵ ÷1·10 ⁶	3·10 ⁴ ÷3·10 ⁵	<1·10 ⁵
Nb	3·10 ⁶ ÷3·10 ⁷	>3·10 ⁵	3·10 ⁵ ÷3·10 ⁶	5·10 ⁴ ÷3·10 ⁵	3·10 ⁴ ÷3·10 ⁵	<5·10 ⁴
Li	3·10 ⁶ ÷3·10 ⁷	>2·10 ⁵	3·10 ⁵ ÷3·10 ⁶	5·10 ⁴ ÷2·10 ⁵	3·10 ⁴ ÷3·10 ⁵	<5·10 ⁴
Cr	4·10 ⁶ ÷4·10 ⁷	>1·10 ⁷	4·10 ⁵ ÷4·10 ⁶	1·10 ⁶ ÷1·10 ⁷	4·10 ⁴ ÷4·10 ⁵	<1·10 ⁶
Zn	6·10 ⁶ ÷6·10 ⁷	>1·10 ⁶	6·10 ⁵ ÷6·10 ⁶	1·10 ⁵ ÷1·10 ⁶	6·10 ⁴ ÷6·10 ⁵	<1·10 ⁵
Zr	2·10 ⁷ ÷2·10 ⁸	>15·10 ⁵	2·10 ⁶ ÷2·10 ⁷	3·10 ⁵ ÷15·10 ⁵	2·10 ⁵ ÷2·10 ⁶	<3·10 ⁵
Sr	4·10 ⁷ ÷4·10 ⁸	>5·10 ⁵	4·10 ⁶ ÷4·10 ⁷	1·10 ⁵ ÷5·10 ⁵	4·10 ⁵ ÷4·10 ⁶	<1·10 ⁵
Ba	6·10 ⁷ ÷6·10 ⁸	>3·10 ⁶	6·10 ⁶ ÷6·10 ⁷	1·10 ⁶ ÷3·10 ⁶	6·10 ⁵ ÷6·10 ⁶	<1·10 ⁶
S	6·10 ⁷ ÷6·10 ⁸	>2·10 ⁷	6·10 ⁶ ÷6·10 ⁷	2·10 ⁶ ÷2·10 ⁷	6·10 ⁵ ÷6·10 ⁶	<2·10 ⁶
F	6·10 ⁷ ÷6·10 ⁸	>5·10 ⁶	6·10 ⁶ ÷6·10 ⁷	1·10 ⁶ ÷5·10 ⁶	6·10 ⁵ ÷6·10 ⁶	<1·10 ⁶
Mn	7·10 ⁷ ÷7·10 ⁸	>3·10 ⁷	7·10 ⁶ ÷7·10 ⁷	3·10 ⁶ ÷3·10 ⁷	7·10 ⁵ ÷7·10 ⁶	<3·10 ⁶
P	9·10 ⁷ ÷9·10 ⁸	>5·10 ⁷	9·10 ⁶ ÷9·10 ⁷	1·10 ⁷ ÷5·10 ⁷	9·10 ⁵ ÷9·10 ⁶	<1·10 ⁷
С (нефть)	3·10 ⁸ ÷3·10 ⁹	>6·10 ⁷	3·10 ⁷ ÷3·10 ⁸	15·10 ⁶ ÷6·10 ⁷	3·10 ⁶ ÷3·10 ⁷	<15·10 ⁶
Ti	4·10 ⁸ ÷4·10 ⁹	>1·10 ⁷	4·10 ⁷ ÷4·10 ⁸	3·10 ⁶ ÷1·10 ⁷	4·10 ⁶ ÷4·10 ⁷	<3·10 ⁶
Mg	1·10 ⁹ ÷1·10 ¹⁰	>1·10 ⁸	1·10 ⁸ ÷1·10 ⁹	1·10 ⁷ ÷1·10 ⁸	1·10 ⁷ ÷1·10 ⁸	<1·10 ⁷
K	3·10 ⁹ ÷3·10 ¹⁰	>5·10 ⁸	3·10 ⁸ ÷3·10 ⁹	1·10 ⁸ ÷5·10 ⁸	3·10 ⁷ ÷3·10 ⁸	<1·10 ⁸
Na	3·10 ⁹ ÷3·10 ¹⁰	>1·10 ⁹	3·10 ⁸ ÷3·10 ⁹	1·10 ⁸ ÷1·10 ⁹	3·10 ⁷ ÷3·10 ⁸	<2·10 ⁸
Fe	4·10 ⁹ ÷4·10 ¹⁰	>3·10 ⁸	4·10 ⁸ ÷4·10 ⁹	5·10 ⁷ ÷3·10 ⁸	4·10 ⁷ ÷4·10 ⁸	<5·10 ⁷

2. Средние содержания (кларки) элементов континентальной коры Земли (в %), вод поверхностного стока (в мг/л)

Элементы	Общие количества для графа 3—19 (в виде 1E±n)	Нижний слой континентальной коры		Для всей мощности континентальной коры (до границы Мохоровичича)										Верхний слой (10—30 км) континентальной коры					Кларк элементов верхней части континентальной коры руд-бежа Кв	C _{н0}	K _н =C _{н0} /K _к
		Тей-лор, Мак-Лен-нан	Wedepohl, 1995	Виноградов, 1962	Тей-лор, 1964	Беус, 1975	Овчинников, 1990	Тей-лор, Мак-Лен-нан	Wedepohl, 1995	Иванов, 1994—1997	Беус, 1975	Овчинников, 1990	«Грани-тый слой» 10—11 км	Слой 10—30 км	Верхняя часть коры (без осадочного чехла)	Верхний слой 20,9 км					
Без осадочного чехла																					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
H	1E-1					1,0	1,1			1,46	0,9	0,9	1,0		1,6		2				
He	1E-7									8,0							8				
Li	1E-3	1,1	1,3	3,2	2,0	2,0	2,5	1,3	1,8		3,0	2,6	3,0	2,0	2,7	2,2	3	3	1		
Be	1E-4	1,0	1,7	3,8	2,8	1,5	2,0	1,5	2,4		2,5	2,1	2,5	3,0	3,5	3,1	3	0,2	0,07		
B	1E-3	0,83	0,5	1,2	1,0	0,7	0,9	1,0	1,1		1,2	1,25	1,0	1,5	1,2	1,7	2	20	10		
C	1E-1		0,588	0,23	0,2	0,17	0,2		1,99		0,3			0,3	2,7	3,24	3	100	33,3		
N	1E-3		3,4	1,9	2,0	2,0	2,0		6,0		2,0	2,0	2,6		2,0	8,3	4				
O	1E+1			4,7	4,64	4,6	4,65		4,72		4,8	4,8	4,81		4,79		5				
F	1E-2		4,29	6,6	6,25	6,0	6,4		5,25	3,3	6,3	5,6	7,2		5,0	6,11	6	10	1,7		
Ne	1E-9									7,0							7				
Na	1E+0	2,08	2,12	2,5	2,36	2,3	2,38	2,3	2,36		2,78	2,82	2,2	2,89	2,01	2,567	3	6	2		
Mg	1E+0	3,8	3,155	1,87	2,33	2,4	2,26	3,2	2,2		1,1	0,99	1,2	1,33	1,79	1,351	1	3	3		
Al	1E+0	8,52	8,212	8,05	8,23	8,1	8,07	8,41	7,96	8,14	8,6	8,33	8,0	8,04	8,14	7,744	8	0,1	0,01		
Si	1E+1	2,542	2,713	2,9	2,81 ₅	2,77	2,799	2,67	2,88		3,05	3,11	3,09	3,08	2,95	3,0348	3	0,6	0,2		
P	1E-2		8,72	9,3	10,5	10,0	10,0		7,57		11,0	9,8	8,0		7,0	6,65	9	5	0,6		
S	1E-2		4,08	4,7	2,6	3,0	3,3		6,97		4,0	3,0	4,0		10,0	9,53	6	400	66,7		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Cl	1E-2		2,78	1,7	1,3	1,0	1,8		4,72	4,3	1,3	1,6	1,7		2,0	6,4	4	700	175
Ar	1E-4									1,0							1		
K	1E+0	0,28	1,314	2,5	2,09	1,8	2,13	0,91	2,14		2,52	2,52	2,7	2,8	2,4	2,865	3	2	0,7
Ca	1E+0	6,07	4,86	2,96	4,15	4,3	3,81	5,29	3,85		2,4	2,49	2,5	3,0	2,71	2,945	3	14	4,7
Sc	1E-3	3,6	2,53	1,0	2,2	2,4	1,7	3,0	1,6		1,4	1,3	1,1	1,1	1,6	0,7	1	1	1
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ti	1E-1	6,0	5,01	4,5	5,7	6,0	5,3	5,4	4,01	5,0	3,8	4,6	3,3	3,0	3,2	3,117	4	0,03	0,007
V	1E-3	28,5	14,9	9,0	13,5	19,0	12,0	23,0	9,8	15,0	8,8	9,1	7,6	6,0	11,0	5,3	7	1	0,14
Cr	1E-3	23,5	22,8	8,3	10,0	12,0	9,3	18,5	12,6	6,0	2,2	2,2	3,4	3,5	9,9	3,5	4	2	0,5
Mn	1E-2	16,7	9,29	10,0	9,5	9,0	9,0	14,0	7,16	10,0	7,0	7,5	7,0	6,0	7,7	5,27	7	0,5	0,07
Fe	1E+0	8,24	5,706	4,65	4,63	5,7	5,33	7,07	4,32		3,3	3,07	3,6	3,5	4,37	3,089	4	0,1	0,02
Co	1E-3	3,5	3,8	1,8	2,5	3,4	2,3	2,9	2,4		0,7	0,78	0,73	1,0	2,3	1,16	1	0,2	0,2
Ni	1E-3	13,5	9,9	5,8	7,5	9,5	7,0	10,5	5,6		1,5	1,6	2,6	2,0	5,8	1,86	2	2	1
Cu	1E-3	9,0	3,74	4,7	5,5	6,5	5,3	7,5	2,5	5,0	2,6	2,9	2,2	2,5	4,6	1,43	3	3	1
Zn	1E-3	8,3	7,9	8,3	7,0	8,7	6,8	8,0	6,5		5,6	5,9	5,1	7,1	7,6	5,2	6	20	3,3
Ga	1E-3	1,8	1,7	1,9	1,5	1,7	1,7	1,8	1,5		2,0	1,8	1,9	1,7	1,9	1,4	2	0,05	0,03
Ge	1E-4	1,6	1,4	1,4	1,5	1,3	1,4	1,6	1,4		1,3	1,3	1,3	1,6	1,5	1,4	2	0,3	0,15
As	1E-4	0,8	1,3	1,7	1,8	1,9	1,8	1,0	1,7		1,9	1,8	1,6	1,5	1,7	2,0	2	7	3,5
Se	1E-5	0,5	1,7	0,5	0,5	1,0	0,73	0,5	1,2		1,4	0,8	1,4	0,5	0,5	0,83	1	30	30
Br	1E-4		0,28	2,1	2,5	2,0	2,4		1,0		4,0	4,3	2,2		2,0	1,6	3	100	33,3
Kr	1E-9									1,0							1		
Rb	1E-2	0,053	0,41	1,5	0,9	0,9	1,1	0,32	0,78		1,6	1,2	1,8	1,12	1,1	1,1	1	0,1	0,1
Sr	1E-2	2,3	3,52	3,4	3,75	3,8	3,7	2,6	3,33		4,4	4,4	2,3	3,5	2,9	3,16	4	6	1,5
Y	1E-3	1,9	2,72	2,9	3,3	2,6	3,2	2,0	2,4	2,7	3,4	3,6	3,6	2,2	2,8	2,07	3	0,1	0,03
Zr	1E-2	0,7	1,65	1,7	1,65	1,3	1,6	1,0	2,03	1,4	1,6	1,4	1,7	1,9	1,7	2,37	2	0,03	0,015
Nb	1E-3	0,6	1,13	2,0	2,0	1,9	2,1	1,1	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	1,6	2,6	3	0,01	0,003

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Mo	IE-4	0,8	0,6	1,1	1,5	1,3	1,2	1,0	1,1		1,2	1,0	1,3	1,5	1,0	1,4	2	5	2,5
Ru	IE-9						400,0		10,0	600,0							5	5000	1000
Rh	IE-9						500,0		6,0	300,0							3	4000	1333
Pd	IE-8	10,0		130,0		10 n	90,0	10,0	4,0	64,0	n	10	n	5,0	100,0		3	300	100
Ag	IE-6	9,0	8,0	7,0	7,0	9,0	7,3	8,0	7,0	6,5	5,1	5,6	4,8	5,0	7,0	5,5	6	20	3,3
Cd	IE-5	0,98	1,01	1,3	2,0	1,9	1,7	0,98	1,0	1,5	1,6	1,1	1,5	0,98	2,0	1,02	2	10	5
In	IE-5	0,5	0,52	2,5	1,0	2,3	1,5	0,5	0,5		2,4	1,7	2,5	0,5	1,0	0,61	1	1	1
Sn	IE-4	1,5	2,1	2,5	2,0	1,9	2,3	2,5	2,3		2,5	1,9	2,7	5,5	2,5	2,5	3	0,5	0,17
Sb	IE-5	2,0	3,0	5,0	2,0	2,0	3,0	2,0	3,0		2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,1	3	10	3,3
Te	IE-7			1,0		1,0	3,0		5,0		1,0	1,0	1,0		1,0		1	100	100
I	IE-5		1,4	4,0	5,0	5,0	4,7		8,0		5,0	5,0	5,0		5,0	14,0	8	300	37,5
Xe	IE-10									2,0							2		
Cs	IE-4	0,1	0,8	3,7	3,0	2,0	4,3	1,0	3,4	1,0	2,0	2,2	3,8	3,7	4,0	5,8	4	0,1	0,03
Ba	IE-2	1,5	5,68	6,5	4,25	4,5	4,7	2,5	5,84		4,5	5,6	6,8	5,5	5,8	6,68	6	2	0,33
La	IE-3	1,1	2,68	2,9	3,0	2,5	3,0	1,6	3,0	3,9	4,0	5,1	4,6	3,0	3,4	3,23	4	0,07	0,02
Ce	IE-3	2,3	5,31	7,0	6,0	6,0	6,1	3,3	6,0	5,9	8,0	7,5	8,3	6,4	6,9	6,57	7	0,1	0,014
Pr	IE-4	2,8	7,4	9,0	8,2	5,7	7,6	3,9	6,7	6,5	7,5	6,4	7,9	7,1	7,7	6,3	7	0,1	0,014
Nd	IE-3	1,27	2,81	3,7	2,8	2,4	3,0	1,6	2,7	2,8	3,2	2,3	3,3	2,6	3,1	2,59	3	0,06	0,02
Sm	IE-4	3,17	6,0	8,0	6,0	6,5	7,3	3,5	5,3	7,6	8,5	8,2	9,0	4,5	6,3	4,7	6	0,1	0,017
Eu	IE-4	1,17	1,6	1,3	1,2	1,0	1,2	1,1	1,3	1,2	1,4	1,4	1,4	0,88	1,25	0,95	1	0,03	0,03
Gd	IE-4	3,13	5,4	8,0	5,3	6,5	7,2	3,3	4,0	7,6	8,5	1,4	9,0	3,8	5,6	2,8	6	0,1	0,017
Tb	IE-5	5,9	8,1	43,0	9,0	10,0	19,0	6,0	6,5	12,0	14,0	13,0	14,0	6,4	9,7	5,0	9	0,2	0,02
Dy	IE-4	3,6	4,7	5,0	3,0	4,6	4,7	3,6	3,8		6,1	5,2	6,5	3,5	5,3	2,9	4	0,07	0,017
Ho	IE-4	0,77	0,99	1,7	1,2	1,3	1,5	0,78	0,8		1,8	1,9	1,8	0,8	1,2	0,62	1	0,03	0,03
Er	IE-4	2,2		3,3	2,8	2,6	3,0	2,2	2,1		3,2	3,8	3,6	2,3	3,1		3	0,06	0,02
Tm	IE-5	3,2		2,7	4,8	2,0	3,6	3,2	3,0	2,8	3,0	3,0	3,0	3,3	4,8		3	0,2	0,067
Yb	IE-4	2,2	2,5	3,3	0,3	2,6	3,1	2,2	2,0	3,0	3,2	3,6	3,6	2,2	3,0	1,5	3	0,06	0,02

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Lu	IE-5	2,9	4,3	8,0	5,0	8,0	9,0	3,0	3,5	8,2	10,0	11,0	11,0	3,2	4,4	2,7	7	0,2	0,03
Hf	IE-4	2,1	4,0	1,0	3,0	2,6	2,4	3,0	4,9		3,2	2,5	3,5	5,8	4,0	5,8	4	0,1	0,025
Ta	IE-4	0,6	0,84	2,5	2,0	1,0	2,2	1,0	1,1		1,8	2,8	2,1	2,2	2,5	1,5	2	0,03	0,015
W	IE-4	0,7	0,6	1,3	1,5	1,1	1,4	1,0	1,0		1,7	1,6	1,9	2,0	1,2	1,4	2	0,4	0,2
Re	IE-8	5,0		7,0		7,0	8,0	5,0	4,0			n	7,0	5,0	n		6	500	83,3
Os	IE-9						200,0		5,0	20,0		n					2	2000	1000
Ir	IE-9	13,0				20,0	65,0	10,0	5,0	18,0		n	15,0	2,0			2	2000	1000
Pt	IE-8						57,0		4,0	90,0					10 n		3	400	133,3
Au	IE-7	3,4		4,3	4,0	1,7	3,5	3,0	2,5	3,0	1,2	2,8	1,2	1,8	4,0		2	300	150
Hg	IE-6		2,1	8,3	8,0	4,6	7,2		4,0		6,7	5,2	6,6		8,0	5,6	6	40	6,67
Tl	IE-5	2,3	2,6	10,0	4,3	7,0	9,0	3,6	5,2		15,0	8,6	18,0	7,5	7,0	7,5	8	0,3	0,04
Pb	IE-3	0,4	1,25	1,6	1,25	0,9	1,3	0,8	1,48	1,3	1,5	1,5	1,6	2,0	1,6	1,7	2	0,5	0,25
Bi	IE-5	0,38	0,37	0,09	1,7	0,08	1,9	0,6	0,85		0,1	0,1	0,1	1,27	3,0	1,23	2	1	0,5
Po	IE-15									2,0							4		
Ra	IE-10									1,0					1,0		2		
Ac	IE-13									0,6							1		
Th	IE-3	0,106	0,66	1,3	0,96	0,73	1,0	0,35	0,85		1,2	0,99	1,4	1,07	1,2	1,03	1	0,01	0,01
Pa	IE-10									0,9							2		
U	IE-4	0,28	0,93	2,5	2,7	1,5	2,6	0,91	1,7	2,2	2,5	2,7	2,6	2,8	3,0	2,5	3	3	1

Примечания. 1. $C_p=0,1C_{mo}$ (при общей минерализации $M=100$ мг/л) и в минеральном остатке таких вод, в % от M (при M десятки—первые сотни мг/л) — C_{mo} , коэффициенты водной миграции пресных вод — K_{np} .

2. Акцент на определение K_B и C_{mo} обусловлен тем, что сопоставление с этими параметрами результатов геохимических исследований — важнейшая характеристика при геологических, прогнозных, поисковых, геоэкологических работах.

3. K_B (графа 18) определяется с учетом возрастания (убывания) концентраций с глубиной, недооценки для установленных ранее кларков фактора специализации рудоносных территорий и осадочного чехла. Отсутствие десятых и сотых долей первого множителя значений K_B объясняется большим разбросом значений кларков при подсчетах разных авторов, использовавших разные геохимические модели литосферы (более дробные значения несут информацию о способах и базах расчета, но вряд ли уточняют значения K_B).

4. Источники информации: 1. *Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора: ее состав и эволюция. — М.: Мир, 1998. 2. *Справочник по геохимии* — М.: Недра, 1990. 3. *Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых*. — М.: Недра, 1990. 4. *Овчинников Л.Н.* Прикладная геохимия. — М.: Недра, 1990. 5. *Иванов В.В.* Экологическая геохимия элементов. Справочник в шести книгах. — М.: Недра, 1994—1997. 6. *Wederohl K. H.* The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 59, № 7, p. 1217—1232, 1995. C_{mo} определены с использованием указанных источников, данных ICP MS B.C. Комарова, А.П. Лопаткиной и автора по европейской части, Сибири и Дальнему Востоку России.

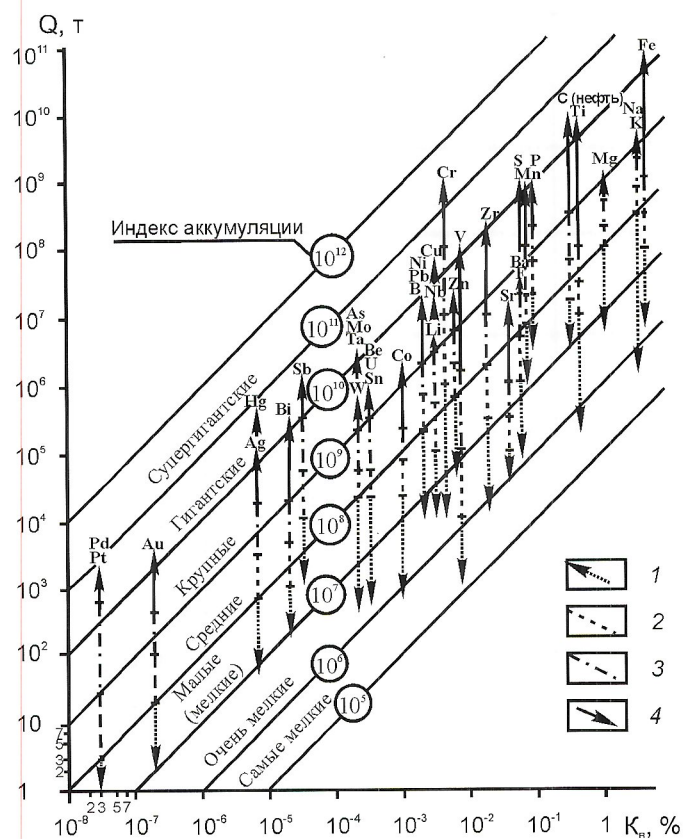


Рис. 1. Теоретические коридоры размерности месторождений:

размерность месторождений по опубликованным данным (наиболее близкая к теоретическим коридорам размерности): 1 — малые, (мелькие); 2 — средние; 3 — крупные; 4 — гигантские

ции (ЗМР). Эта функция отражает границу малых и средних месторождений при кларковых концентрациях, характерных для рудных районов. При смещении параметра по оси абсцисс в сторону роста его значений увеличиваются запасы наибольших месторождений района. Соответственно, если по оси абсцисс принять значения местных кларков Ферсмов — Φ , то по ЗМР оцениваются вероятные запасы наибольшего месторождения рудного района с установленной величиной Φ . По ЗМР во сколько раз Φ превосходит K_b , во столько же раз увеличиваются ожидаемые запасы крупнейшего месторождения Q_k по отношению к теоретическим максимальным запасам малого месторождения этого элемента, или $Q_k = 10^8 \Phi$.

В реальных условиях определение Ферсмов требует больших затрат. Поэтому вместо соотношения Ферсмов с кларками можно использовать коэффициент геохимической специализации (КГС) — отношение средних концентраций химических элементов рудных районов по данным лито- или гидрогеохимических съемок к соответствующему кларку. Для данных литогеохимии КГС определяется в соотношении к K_b , для данных гидрогеохимии — к кларку речного стока (в пересчете на минеральный остаток). В последнем случае Ферсм может быть оценен как произведение КГС на K_b .

Постспутниковая прецизионная многокомпонентная гидрогеохимическая съемка (ПГС) для оценки рудоперспективности эндогенных аномалий. Уровень геохимической специализации территории размещения ареалов

активизации недр (и других площадей) с минимальными затратами может быть установлен с применением ПГС, выполняемой с отбором проб по бассейновому принципу. Прототип такой съемки — гидролитохимическая съемка урановорудных провинций СССР, выполненная в 80-е годы прошлого столетия под руководством В.С.Комарова.

Предпочтительность ПГС определяется следующими факторами: 1) невысокая стоимость на единицу площади (многократно меньше других видов геохимических работ); 2) получение интегральной информации по характеристике больших по размерам площадей от одного пункта наблюдения, что недоступно в таких масштабах для литохимических съемок; 3) учет в интегральной гидрогеохимической характеристике усредненной информации по различным типам горных пород (в т.ч. их распространенности), а также вторичных и первичных ореолов рассеяния рудных объектов, что в совокупности дает сведения о средней металлоносности территории водосборной площади; 4) учет глубинной геохимической информации о территории в связи с влиянием на получаемую геохимическую характеристику подземных вод; 5) высокая чувствительность основного рекомендуемого метода определения концентраций элементов (масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой — ICP MS); 6) оптимальность выбора пунктов отбора проб при использовании для этой цели результатов анализа материалов дистанционного зондирования.

По материалам прецизионных гидрогеохимических съемок автором ранее оценены [1] три территории:

Яруинский регион (Дальний Восток Сибири) — гидрогеохимические данные свидетельствуют о его бесперспективности на обнаружение крупных месторождений урана, что доказано неоднократно, но безрезультативным (в смысле выявления промышленных месторождений) возвращением к поискам здесь урана с использованием бурения до глубины 1 км.

Печенгский регион (северо-запад Кольского полуострова) — гидрогеохимические данные подтвердили наличие весьма крупного никеленосного рудного объекта и служат основанием перспектив обнаружения новых крупных месторождений платиноидов, золота, вольфрама, редких земель (ТР).

Приладожский регион — гидрогеохимические данные показывают, что здесь возможно обнаружение весьма крупных месторождений Zn, Be, TR, но маловероятны крупные урановорудные объекты.

ПТКС и ПГС района расположения Мончегорского Cu-Ni-Pt-Pd-Cr-рудного и Оленегорского Fe-рудного районов. При проведении ПТКС рассматриваемой территории из сотен сцен съемки NOAA AVHRR* сначала были выбраны несколько десятков сцен, где территория не закрыта облаками. Затем выполнялся анализ таких десятков сцен, в процессе которого ряд сцен оказался удовлетворительного качества (для целей металлогенического анализа террито-

*Съемка аппаратурой AVHRR, устанавливаемой на спутниках серии NOAA, выполняется в пяти диапазонах фиксации электромагнитных волн (в мкм): 0,58—0,68; 0,72—1,10; 3,55—9,93; 10,5—11,5; 11,5—12,5. Эти данные используются для различных целей. В настоящей работе в основном анализировалась информация каналов: 4 — 10,5—11,5 мкм; 2 — 0,72—1,10 мкм и 1 — 0,58—0,68 мкм, т.к. в рассматриваемом случае они наиболее информативны и дают взаимодополняющую информацию. При работе применялось программное обеспечение, созданное в ИКИ РАН [4].

рии). Эти снимки прошли процедуры типовой обработки, после чего фиксировались фрагменты снимков на площадь исследований и выполнялась их радиометрическая коррекция для подчеркивания элементов поля радиоярких температур.

Анализ данных ПТКС позволил: 1) выявить региональную температурную аномалию, контролирующую размещение Мончегорского и Оленегорского рудных районов в целом; 2) установить локальные тепловые аномалии, которые использованы при выявлении перспективных участков.

Региональная аномалия ПТКС. Ареал аномальных значений радиоярких температур и аномалий спектральной яркости по снимкам, полученным в видимой и ближней инфракрасной зонах электромагнитного спектра, который объясняется повышенным тепловым потоком недр и контролирует размещение Мончегорского и Оленегорского рудных районов, установлен по данным космических съемок 20 и 21 мая 2000 г., подтвержден съемкой 29 мая 2002 г. В эти дни интенсивно таял выпавший накануне снег на всей территории запада Кольского полуострова. Судя по данным космических съемок, скорость таяния снега в пределах Мончегорского и Оленегорского районов опережала смежные с ними территории. На снимках это видно как при фиксации теплового, так и видимого и инфракрасного диапазонов — в виде полигонов протайки в пределах эллипсовидного ареала (90×60 км).

Локальные аномалии ПТКС. Локальные аномалии радиоярких температур установлены при анализе данных канала 4, указанных ранее космических снимков, с привлечением съемок в утреннее и предутреннее время 08.09.2000 г., 01.09.2001 г., 25.05.2002 г., 05.08.2000 г., 29.07.2000 г. Общий недостаток снимков за период май—июль — подсветка (белые ночи) Солнцем в утреннее и предутреннее время восточных склонов и их соответственный прогрев, а снимков в период осени и второй половины лета — тепловые аномалии от водоемов, утренняя температура которых выше, чем у окружающего их ландшафта. Во всех случаях влияет вертикальный температурный градиент ~6,5° на 1 км. С учетом этих факторов на изученной территории выделено более 30 эндодинамических аномалий радиоярких температур. Сопоставление местоположения известных рудных полей Мончегорского района с такими аномалиями показывает их пространственную близость. Тепловые аномалии характерны и для многих ранее установленных рудоперспективных участков, для месторождений железа Оленегорского рудного района. Пример одного из использованных космических снимков радиоярких температур представлен на рис. 2.

Результаты ПГС. На территории Мончегорского района ПГС выполнена в августе 2003 г. (отобрано и проанализировано на 70 элементов методом ISP MS более 100 проб воды). Такой съемкой предварительно охарактеризован район в целом. При этом не подтвердились опасения о неустранимом воздействии антропогенного фактора на гидросферу в связи с влиянием металлургического комбината г. Мончегорск. Опробование проточных вод показало, что атмосферные выбросы комбината в наименьшей степени влияют на воды. Дана предварительная характеристика и рудным полям Ниттис—Кумужья—Травяная (НКТ), Сопча и Нюд, а также перспективному участку Северогрязненский, в пределах которого проведены работы с целью гидрогеохимического анализа одной из аномалий радиоярких температур.

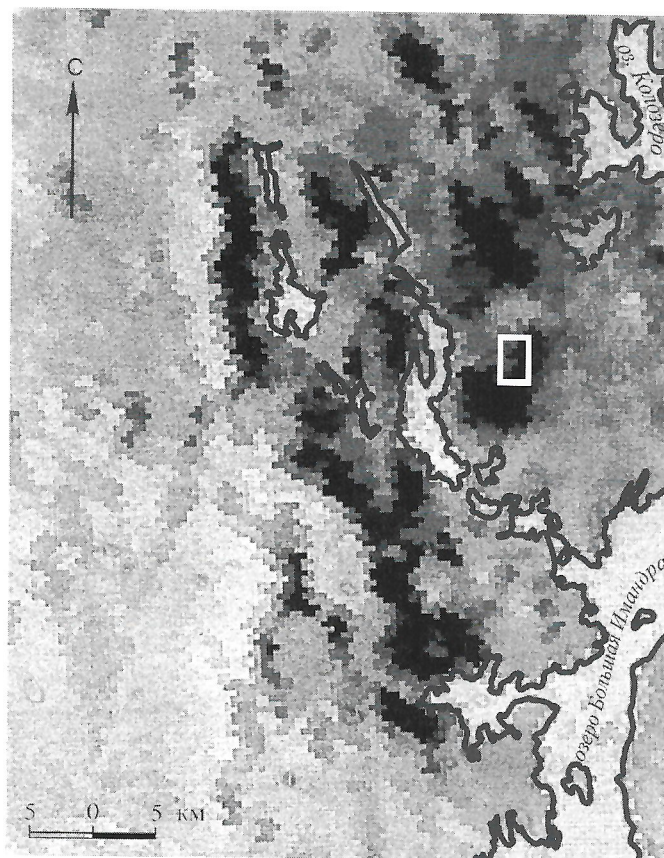


Рис. 2. Аномалии радиоярких температур территории Мончегорского и Оленегорского рудных районов. По данным канала 4 NOAA AVHRR, съемка 20.06.2000 г. в 7 часов 20 минут по московскому времени:

черное — аномалии; белое — контур полигона, в пределах которого выполнена гидрогеохимическая съемка на участке Северогрязненский

В пересчете на минеральный остаток среднее значение концентраций никеля в водах Мончегорского района составляет $\text{Ni } 6 \times 10^{-2}\%$, $\text{Pd } 4 \times 10^{-5}\%$. При кларке речного стока (в пересчете на минеральный остаток) $\text{Ni } 2 \times 10^{-3}\%$, $\text{Pd } 3 \times 10^{-6}\%$ (см. табл. 2) фон наземной гидросферы рудного района превосходит соответствующий кларк этих элементов более чем в 10 раз*. В соответствии с ЗМР (см. рис. 1) во столько же раз запасы наибольших месторождений района должны превосходить теоретические максимальные запасы малых месторождений, представленных в табл. 1, т.е. ожидаемые запасы наибольшего месторождения района по Ni и Pd относятся к категории крупных, а на опубликованных картах полезных ископаемых территории выявленные месторождения отнесены к более низким категориям. Данные ПГС свидетельствуют о перспективах обнаружения в рассматриваемом районе новых весьма крупных месторождений медно-никелевых, платиноидов. Ме-

*Подтверждением того, что это не следствие антропогенного воздействия является соотношение кларка никеля с содержанием данного элемента в горных породах Мончегорского плутона, где, по данным Э.Н.Елисеева (табл. 3, «Геохимия главнейших сульфидных медно-никелевых провинций СССР», Львов, 1959 г.), среднее содержание Ni 0,25%, т.е. согласно табл. 2 в 125 раз больше K_B .

нее обнадеживают данные по хрому, средняя концентрация которого в водах района только в несколько раз больше, чем у континентального стока и, соответственно, ожидаемые запасы наибольшего месторождения находятся в пределах первого десятка миллионов тонн.

Одно из мест, где в Мончегорском районе возможно обнаружение новых месторождений, — участок Северогрязненский (см. рис. 2 и 3). Он выбран для проведения детализационных работ ПГС в связи с присущей ему благоприятной геологической ситуацией, обладает геофизическими характеристиками, которые свойственны известным месторождениям, и расположен в пределах локального повышения радиоярких температур по данным ПТКС. Ранее поисковые работы велись к юго-западу от оз. Грязное,

он выбран для проведения детализационных работ ПГС в связи с присущей ему благоприятной геологической ситуацией, обладает геофизическими характеристиками, которые свойственны известным месторождениям, и расположен в пределах локального повышения радиоярких температур по данным ПТКС. Ранее поисковые работы велись к юго-западу от оз. Грязное,

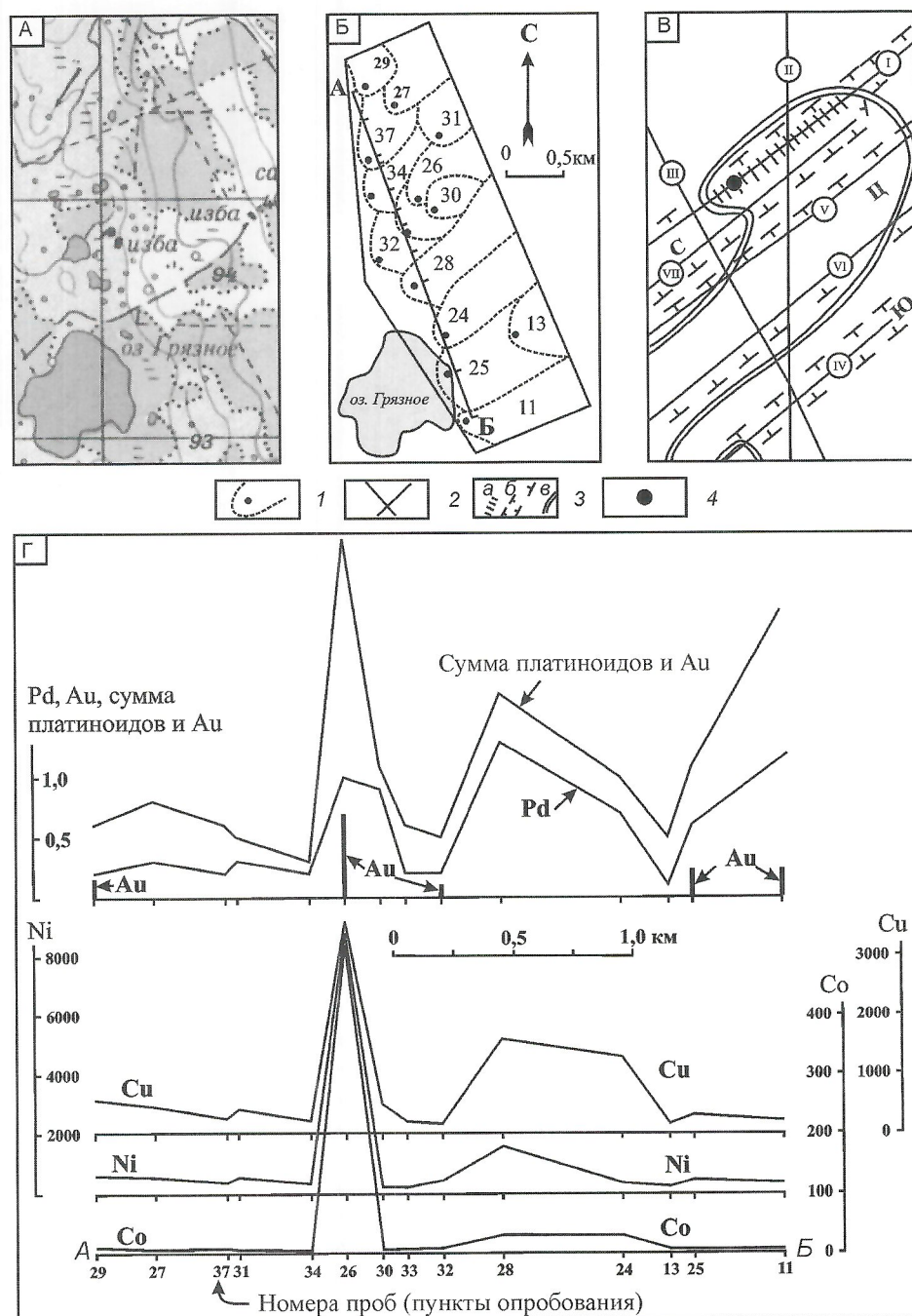


Рис. 3. Результаты работ на участке Северогрязненский:

А — топографическая схема участка работ; Б — схема гидрогеохимического опробования ПГС; В — результаты интерпретации данных гидрогеохимического опробования; Г — условный профиль гидрогеохимического опробования по линии АБ; концентрации химических элементов на графиках даны в пересчете на минеральный остаток ($n \times 10^{-4}\%$); 1 — пункты опробования, их номера и контуры водосборных площадей; 2 — разломы по данным анализа топоосновы и гидрогеохимии, их номера (цифры в кружках): I — Северный, II — Меридиональный, III — Северо-Западный, IV — Южный, V — Центральный, VI — Дорожный, VII — Промежуточный; 3 — прогнозируемые: а — рудное тело (РТ), б — геохимически специализированные зоны: Северная — С (Cu, Ni, Co, Au, Pt, Pd), Центральная — Ц (Cu, Ni, Co, Pd, Ru, Rh), Южная — Ю (Au, Pt, Pd); в — контуры ареалов размещения рудоперспективных базит-гипербазитовых интрузий, которые проведены с учетом 2—3-кратного и более превышения над фоном концентраций Сг и Тi в пунктах 24, 26, 28, 30; 4 — местоположение максимальной гидрогеохимической аномалии (пункт опробования 26)

изученный же участок расположен к северу и востоку от этого озера. На участке обнаружены три геохимически специализированные зоны и интенсивная гидрогеохимическая аномалия. Данные комплексной интерпретации позволяют предположить наличие рудного тела и контролирующего его размещение ареала базит-гипербазитовых интрузий, являющегося северо-восточным продолжением известных интрузий, расположенных к юго-западу от оз. Грязное (см. рис. 3). Детальные поисковые работы на участке должны привести к обнаружению нового Cu-Ni-Co-Pt-Pd месторождения в Мончегорском рудном районе и послужить началом работ по выявлению нового рудного узла Пивнус-Грязное (в пределах аномалии радиояркостных температур этой территории).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов В.С. Оценка рудоносности территорий по космическим данным и гидрохимическим аномалиям // Отечественная геология. 1999. № 5. С. 11—16.

2. Антипов В.С. Постспутниковая ГИС-оценка потенциальной ценности недр // Геоинформационные системы в геологии. — М., 2002. С. 7—11.
3. Антипов В.С. Рудоконтролирующие аномалии ареалов активизации недр (металлогения эндодинамических аномалий) // Вестник СПб. ун-та. Сер. 7. Геология, география. 2002. Вып. 3. № 23. С. 54—64.
4. Захаров М.Ю., Луян Е.А., Мазуров А.А. Программы обработки данных прибора AVHRR спутников серии NOAA для персональных компьютеров // Исследование Земли из космоса. 1993. № 4. С. 62—68.
5. Овчинников Л.Н. Прогноз рудных месторождений. — М.: Недра. 1992.
6. Рундквист Д.В., Волчанская И.К. Неотектоника и металлогения // Геотектоника. 1987. № 3. С. 3—15.
7. Рундквист Д.В. Международный проект «Промышленные суперконцентрации металлов в литосфере» // Тезисы докладов I международного симпозиума «Крупные и уникальные месторождения редких и благородных металлов (проблемы генезиса и освоения)». — СПб., 1996. С. 11—12.
8. Laznicka P. Giant ore deposits: a quantitative approach // Global Tectonics and Metallogeny. 1983. Vol. 2. № 12. P. 41—63.

УДК [528.8.044.1.550.8:553.81] (470.23-24)

© В.А.Старостин, 2004

Радиолокационная аэросъемка при выявлении структур трубчатого типа на территории Ленинградской и Новгородской областей

В.А.СТАРОСТИН

В 1986—1988 гг. на территории Ленинградской, Новгородской и частично Вологодской областей была проведена радиолокационная аэросъемка радиолокационной системой бокового обзора «Нить», обработаны и проанализированы материалы ее для составления структурно-тектонической схемы и выявления структур, отождествляемых со структурами, связанными с кимберлитовым магматизмом.

В результате этих работ составлена структурно-тектоническая схема, на которой на основании дешифрирования установлены разломы и зоны разломов (рис. 1), ограничивающие выделенные блоки фундамента нескольких порядков, а также ряд кольцевых и изометричных структур, связанных как с фундаментом, так и осадочным чехлом. Необходимо отметить, что выделяемые на различных материалах дистанционных съемок, в т.ч. и радиолокационной, дизъюнктивные структуры фундамента проявляются на поверхности вследствие неоднократной активизации, выражающейся в создании зон повышенной трещиноватости и проницаемости горных пород, не говоря о смещении положения их блоков. В зонах разрывных нарушений особенности гидрогеологического и гидрогазобихимического режима приводят к изменению ландшафтных признаков, которые воспроизводятся на радиолокационных снимках, вследствие повышенной чувствительности радиоволн к влажности и связанной с ней электропроводности, а также низких углов визирования, позволяющих фиксировать на местности малейшие изменения рельефа и, в частности, микрорельефа.

Особенности формирования радиолокационного изображения и методики геологического дешифрирования материалов съемки неоднократно освещались в специальной литературе [1]. Структурно-тектоническая схема, со-

ставленная на основании дешифрирования и анализа результатов его совместно с геолого-геофизическими данными на эту территорию, в настоящей статье не представлена. Однако на ряде структурных элементов этой схемы следует остановиться, так как к отдельным тектоническим блокам приурочены структуры трубчатого типа.

Предполагается наиболее древний, раннедокембрийский возраст заложения глубинных разломов, соответствующих границе между Ладожским и Новгородским мегаблоками, верхнемантийные плотностные неоднородности которых имеют четко выраженные особенности истории геологического развития. Раннепротерозойские разломы соответствуют градиентным зонам в потенциальных полях, т.е. тесно связаны с фундаментом. Г.П.Воеводова, А.В.Савицкий [2] определяют их как коровые. Выделяются внутриблоковые разломы, подчеркивающие конфигурацию блоков, выраженность которых на поверхности, вероятно, заключена в существовании над ними зон пород повышенной трещиноватости и проницаемости. По глубине они — внутрикоровые, мощностью в несколько километров. Кроме того, выделяется ряд разрывных нарушений секущих блоковые структуры, возраст их моложе оформления блоков, но они могут отражать обновление и активизацию в более позднее время.

В этом отношении большой интерес представляют широтные и меридиональные разломы, предположительно древнего заложения, зафиксированные в кристаллическом фундаменте и активизированные в более позднее время в основном фрагментарно, реже регионально выраженные на поверхности. Именно с таким направлением в значительной степени обусловлена выраженность блоков со структурами трубчатого типа. Среди дешифрирован-

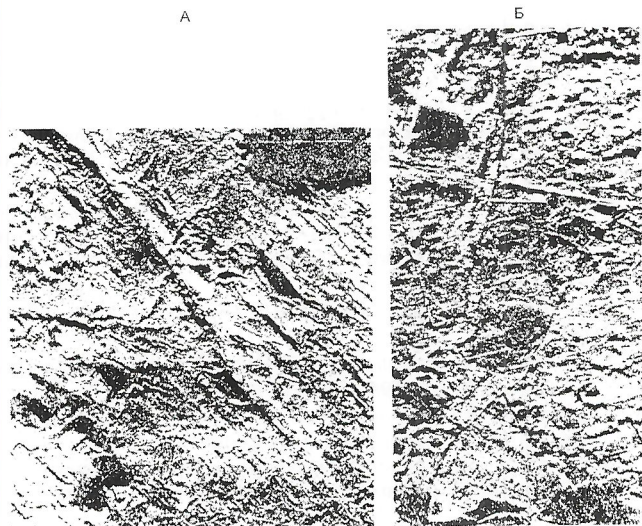


Рис. 1. Радиолокационные изображения разрывных нарушений:

дешифрирующиеся по: А — прямолинейным элементам рельефа (уступы, гряды); Б — элементам гидросети

ных кольцевых структур и их дугообразных фрагментов с фундаментом связывают те из них, которые отображены в аномальном магнитном поле.

Вялевский блок отчетливо выделяется на материалах радиолокационной съемки (рис. 2, А). С южной и восточной сторон обособлен разломами субширотного и меридионального направлений по долине р.Оредеж, с хорошо выраженными структурными линиями меридионального простираия. Диаметр кольцевой структуры в юго-восточной части блока несколько десятков километров, хорошо прослеживается как на материалах радиолокационной съемки, так и космических снимках. Магнитное поле Вялевского блока спокойное, пониженное, лишь на северо-востоке блока зафиксировано два вытянутых в северо-восточном направлении повышения магнитного поля.

Гравитационное поле своеобразно, как и магнитное пониженное, но дифференцировано. Уменьшение напряженности к северу и югу от оз.Вялье происходит скачкообразно. Наибольший интерес представляют локальные аномалии в северо-восточной и восточной частях блока.

Наличие мелких изометричных структур как внутри указанной кольцевой структуры, так и северо-восточной части блока, а подобные изменения магнитного поля и проявление в этом районе магматизма основного состава, позволяют считать Вялевский блок потенциально перспективным на структуры трубчатого типа. К востоку и северо-востоку от этого блока выделяется ряд мелких кольцевых структур, которые пока не нашли подтверждения в магнитном поле.

Тигодинский блок (см. рис. 2, Б) также как и Вялевский, ограничен разломами субширотного и субмеридионального простираия по долине р.Тигода. Блок представляет собой поднятие с сокращенным разрезом пород девона и относительно небольшой мощности четвертичных отложений.

По материалам радиолокационной съемки отчетливо выделяется концентрическая структура, в пределах которой наблюдается ряд мелких кольцевых структур. Материалы аэромагнитной съемки показали дифференцированность магнитного поля, обусловленного магматизмом пород основного и ультраосновного составов в данном районе.

Широтная зона разломов, ограничивающая с юга Вялевский блок, протягивается от структуры около Чудского озера на восток до г.Любытино, где пересекается разломом северо-западного простираия. Вдоль этой зоны дешифрируется ряд мелких концентрических и изометричных структур, с некоторыми из них связаны локальные магнитные аномалии.

Верхнемстинский блок (см. рис. 2, В) ограничен с запада, севера и востока разломами на р.Мста. Широтный разлом с севера и меридиальный с востока напоминают струк-

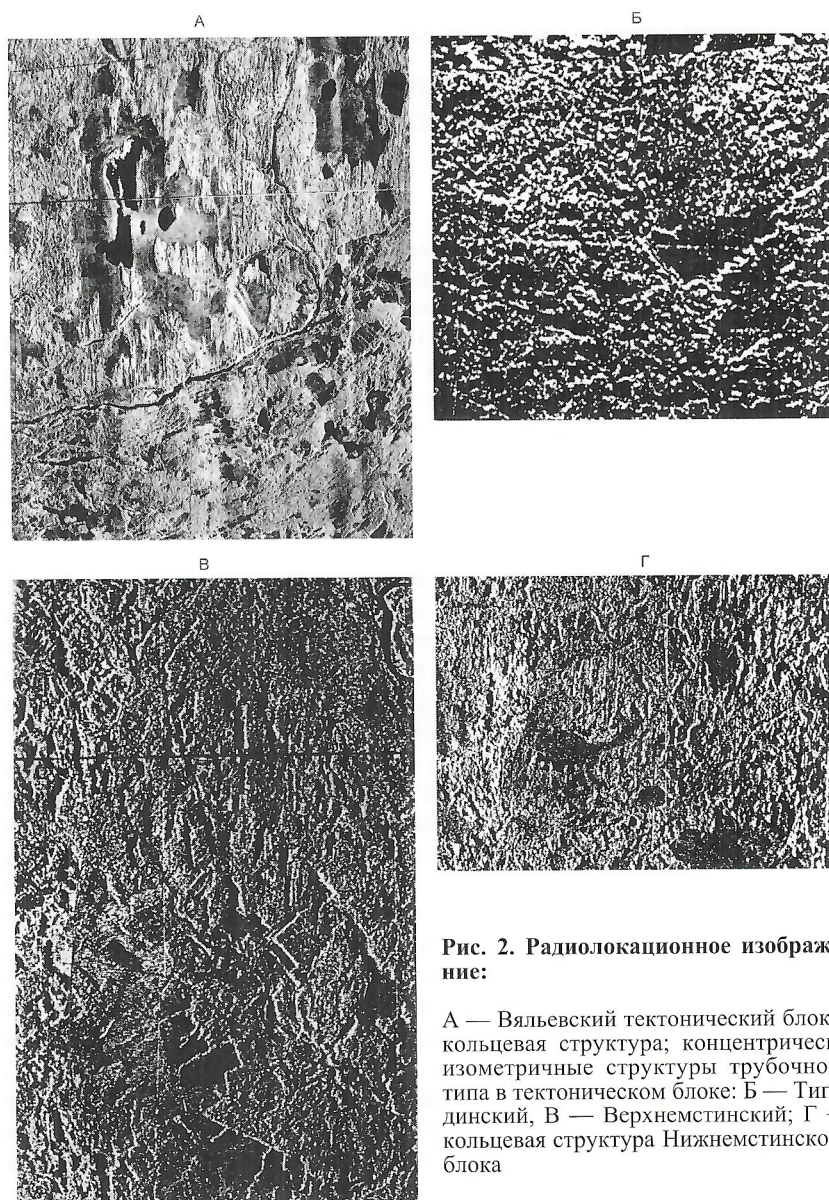


Рис. 2. Радиолокационное изображение:

А — Вялевский тектонический блок и кольцевая структура; концентрически изометричные структуры трубчатого типа в тектоническом блоке: Б — Тигодинский, В — Верхнемстинский; Г — кольцевая структура Нижнемстинского блока

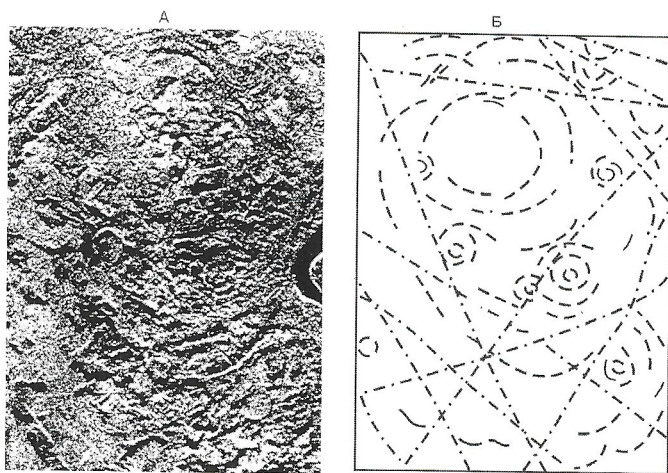


Рис. 3. Радиолокационное изображение овальной структуры Нижнесвирского тектонического блока (А), в пределах которой выделяются мелкие концентрические структуры трубчатого типа, и схема ее дешифрирования (Б)

турные ограничения Тигодинского и Вялевского блоков. Кольцевой изометричный характер структур трубчатого типа проявляется через кольцеобразные зоны повышенной трещиноватости и обводненности (см. рис. 2, Г).

Для ряда тектонических блоков со структурами трубчатого типа характерно поднятие восточной и наклон в западной части, где происходит заболачивание, развитие озер. Кольцевой и концентрический рисунок их изображения обусловлен повышенной трещиноватостью и проницаемостью пород. Отдешифрованные структуры здесь также подтверждаются данными аэромагнитной съемки. Для одной структуры, в частности, фиксируется повышенная радиоактивность.

К северу от Верхнемстинского блока в Ноболчинском блоке также отдешифрованы мелкие кольцевые и концентрические структуры.

Нижнесвирский блок (рис. 3). На материалах радиолокационной съемки отчетливо прослеживается овальный контур этой структуры. В пределах этого контура наблюдаются мелкие концентрические структуры (1—1,5 км в диаметре) зонального строения, характерные для структур трубчатого типа.

Данный участок отличается резко дифференцированным магнитным полем, что придает картине магнитного поля «мозаичный» вид. Вся область «мозаичного» поля, выходящая за рамки указанного участка на запад и юг, считается интрузивным массивом основного—ультраосновного состава концентрически зонального строения. Причем на правом берегу р. Свирь располагается ее наиболее приподнятая часть.

В **Приладожском блоке** к западу от р. Волхов, на радиолокационных снимках дешифрируются овальные структуры, аналогичные тем, что зафиксированы в Нижнесвирском блоке. Их образование также связывается с проявлениями основного и ультраосновного магматизма.

Ряд локальных структур трубчатого типа выявлен в **Бургинском** и **Вишерском** блоках центральной части рассматриваемой территории. Их дугообразные ограничения и изометричные элементы внутреннего строения осложняют секущие линейные структурные зоны разломов. Гравимангнитное поле Бургинского блока формируют плотные

интрузивные образования основного состава, подобные габброидным породам, а также южнее скважин в Вино-Крестецком районе, породы подводящих каналов эффузивов основного состава, вскрытых скважинами за пределами Новгородской площади (рис. 4).

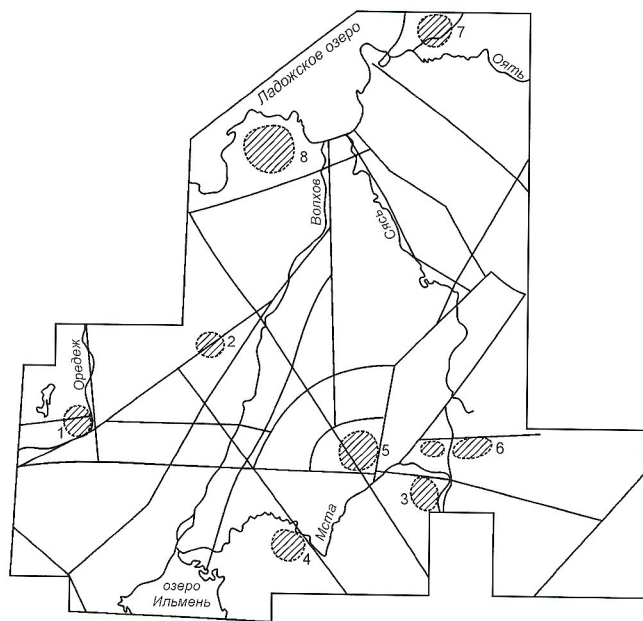


Рис. 4. Структурно-тектоническая (разреженная) схема с участками, перспективными на выявление структур трубчатого типа. Масштаб 1:2 500 000:

заштрихованы перспективные участки: 1 — Вялевский, 2 — Тигодинский, 3 — Верхнемстинский, 4 — Нижнемстинский, 5 — Бургинский, 6 — Неболчинский, 7 — Нижнесвирский, 8 — Западно-Ладожский

Заканчивая обзор тектонических блоков и приуроченных к ним структур трубчатого типа, выделенных по материалам радиолокационной съемки, следует отметить, что здесь не ставилась цель показать всю сложность блокового строения территории Ленинградской и Новгородской областей, так как она достаточно полно освещена в фондовых материалах и повторять ее в настоящей статье нет необходимости.

Однако необходимо показать возможности радиолокационного метода с подтверждением геофизическими материалами в связи с созданием в Российской Федерации новой многочастотной радиолокационной системы с потенциалом информативности существенно превышающим возможности старой системы.

Одновременное получение результатов в сантиметровом, дециметровом и метровом диапазонах с разной поляризацией радиоволн позволяет иметь информацию по площади (а не по профилю) от уровня земной поверхности (что необходимо для точной привязки контуров и линейментов) до трех подповерхностных уровней, различающихся характером информации в зависимости от глубины проникновения и отражения радиоволн.

В методическом отношении полезна информация с точной картографической привязкой, которая получается на основе совместного сравнительного анализа данных разных частотных диапазонов. Эта информация уникальна, так как взаимодействие радиоволн разного диапазона (проникно-

вание, поглощение, рассеяние и отражение) с земной поверхностью, растительным покровом и подповерхностными объектами, будут различными для каждого диапазона.

Совместный анализ информации разного диапазона, полученный в цифровом виде, в комплексе с геолого-геофизическими данными, позволяет разработать компьютерную технологию решения широкого круга конкретных практических задач геологического и гидрогеологического картирования, прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых, в частности, выявление структур, обусловленных кимберлитовым магматизмом. Результаты опытно-методических работ по многочастотной радиолокационной съемке в ряде районов Российской Федерации и ближнего Зарубежья, свидетельствуют об этих возможностях [3].

Применение многочастотной радиолокационной съемки особенно эффективно в залесенных заболоченных районах Северо-Запада России. «Снятие» растительного по-

крова и получение подповерхностной структурно-тектонической информации дают возможность оперативно оценить большие территории. Проведение высокоточной аэромагнитной съемки, электроразведки и других методов следует локализовать на выявленных по материалам радиолокационной съемки перспективных структурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушков В.М., Комаров В.Б., Старостин В.А. Радиолокационная съемка при геолого-географических исследованиях. — Л.: Недра, 1981.
2. Воеводова Г.П., Савицкий А.В. Принципы и методика выделения блоков и основных элементов глубинного строения северо-запада Русской платформы / Блоковая тектоника и перспективы рудоносности Северо-Запада Русской платформы. — Л., 1966. С. 5—21.
3. Старостин В.А., Щербаков В.Л. Многочастотная радиолокационная съемка — новый эффективный метод исследования природных ресурсов // Минерал. 2002. № 1 (4). С. 29—37.

УДК 528.88: 553.41 (571.651)

© Е.А.Журавлев, 2004

Космоструктурная позиция крупных золотосеребряных месторождений в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса

Е.А.ЖУРАВЛЕВ

Данная статья — результат исследований, проведенных в рамках государственного контракта № 4 от 21.03.2001 г. «Апробация методов космического зондирования для прогноза золотосеребряных месторождений в пределах ОЧВП (этап 1)» с Комитетом природных ресурсов по Чукотскому АО, в которых автор принимал участие.

Проблема обнаружения крупных золотосеребряных месторождений в Чукотском АО стоит остро, так как экономика региона направлена на добычу золота, а крупных объектов в пределах округа не известно.

Удаленность территории и слабое развитие инфраструктуры региона определяет экономическую целесообразность использования космических методов исследования. Работы проводились в геологически открытом районе, т.е. не перекрытом чехлом платформенных отложений, что также подтверждает необходимость применения материалов космической съемки при геологических исследованиях территории. Работы по государственному контракту охватывали исследования масштаба 1:2 500 000 с использованием материалов спутниковых съемок NOAA AVHRR. Выбор именно этой системы съемки обусловлен возможностями получения космоснимков на большие по площади территории, отбора безоблачных сцен, получения информации в видимой, ближней инфракрасной и тепловой зонах при затратах временных и финансовых ресурсов в разумных пределах.

Существенные региональные различия геологической информативности материалов дистанционного зондирования (МДЗ) открытых и закрытых регионов обуславливают и разную методику дешифрирования. Для открытых районов она упрощается за счет выпадения операций по географической классификации «фотогеологических» объектов, геоиндикационному районированию и менее детальной

отработки фотогеологических ключей — эталонных участков [1].

В общем случае при интерпретации любого вида изображений земной поверхности полноценная модель геологического строения получается только после прохождения нескольких различных по содержанию логических этапов. На каждом этапе к расшифровке изображения привлекаются данные других методов (геофизические, геохимические, геоморфологические и др.), и в этом смысле фотогеологическая интерпретация всегда комплексна.

Непосредственно для условий Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) дешифрируемость МДЗ — высокая, так как регион практически открытый с позиции дешифровщика, что тем более касается работ на континентальном уровне генерализации (УГ), когда объекты дешифрирования исключительно структурные — разрывные нарушения разных рангов, блоковые и кольцевые структуры.

Один из главных принципов выбора площадей, вмещающих эталонные рудные объекты, состоит в том, чтобы площади были достаточно велики для выявления сквозных (по отношению к рудным объектам) рудоконтролирующих структур линейного и кольцевого характера, блоков различного глубинного строения и других рудоконтролирующих и рудо локализирующих структур.

Важное правило системного подхода к прогнозированию — принцип минимизации, т.е. такой рациональной последовательности использования признаков, при которой достигается максимальная локализация перспективных площадей при минимальном числе используемых критериев. При этом встает задача определения последовательности использования методов и рационального отбора критериев на всех уровнях исследований. Способы решения задач прогнозирования на каждом уровне генерализации имеют свои особен-

ности. Опыт показывает, что, например, наиболее информативный на региональном уровне генерализации — линейментный анализ и выявление сводовых, блоковых, складчато-надвиговых и покровных структур, тогда как при крупномасштабных исследованиях на первое место выдвигается геотектонический анализ.

Поскольку в пределах Чукотского АО пока не известны крупные золотосеребряные месторождения, то для составления космоструктурных прогнозных моделей КПИМ как основы прогнозирования были изучены условия локализации месторождений западной части ОЧВП: Дука́т и Куба́ка (крупные), а также Хака́нджа, Кара́мкен, Эве́нское и Серге́евское (средние) [9]. При выявлении критериев размещения месторождений и составлении моделей были использованы данные дистанционного зондирования, геолого-тектонические, геофизические, металлогенические.

Структурно-тектоническая схема ОЧВП Чукотского АО по данным дешифрирования ДО континентального уровня генерализации. Основой для выявления закономерностей размещения крупных золотосеребряных месторождений ОЧВП послужила структурно-тектоническая схема континентального УГ. Схема составлена по результатам экспертного интерактивного дешифрирования ДО, созданной в ГУП НИИКАМ в 1999—2000 гг. по данным космической съемки NOAA AVHRR, и отдельных тепловых снимков. Окончательные данные представляют полученную на компьютере сумму частных результатов экспертного дешифрирования, согласованных между собой в единой легенде.

Конечный результат дешифрирования — схема линейных и кольцевых структур как основа структурных построений планового и глубинного характера (рис. 1, см. вставку в середине журнала). При построении структурно-тектонической схемы по характерным признакам из общей массы отдешифрированных объектов, были выделены следующие: 1) блоки земной коры; 2) зоны разломов, в т.ч. блокообразующие и те, которые многими исследователями рассматриваются как рифтогенные; 3) трансформные зоны разломов, т.е. поперечные, часто со сдвигом по отношению к рифтогенным; 4) отдельные зоны разломов; 5) основные региональные разломы; 6) прочие разломы; 7) кольцевые и дуговые структуры разных рангов.

Минимальные (по длине) элементы разрывной тектоники на схеме составляют примерно 12 км на местности. Наиболее крупный тектонический элемент ОЧВП — главная зона разломов длиной около 1700 км и простирающаяся от Тауйской губы (Охотское море) до мыса Шмидта (Чукотское море) в северо-западном направлении. Данная зона имеет неравномерную ширину и поперечное строение. Так, на юго-западе ее ширина около 170 км, постепенно увеличивается до 230 км на уровне меридиана 163°, а далее на северо-восток ширина постоянна — около 350 км. Юго-восточная граница этой части зоны ступенчатого строения за счет нарушения ее зонами поперечных разломов, длина которых около 500 км при ширине от первых десятков до 100 км.

Продольное строение главной зоны разломов также неравномерное. Наибольшая насыщенность конформными разломами наблюдается в ее юго-восточной трети. Она соответствует по геологическим, геофизическим данным и дешифровочным признакам глубинным разломам и рифтогенной структуре (рис. 1—3, см. вставку в середине журнала).

Еще один крупный тектонический объект — зона разломов субмеридионального простирания, расположенная к востоку от меридиана 172° до меридиана бухты Провидения. Разломы этой зоны пересекают рассматриваемый регион на всю его ширину. В большинстве случаев шаг разломов составляет 10—15 км.

В качестве рудных таксонов, содержащих золотосеребряные месторождения Дука́т, Хака́нджа, Кара́мкен и Серге́евское, было выявлено 4 блока, отвечающие рудным областям. Исходя из проведенного анализа схемы дешифрирования и расположения месторождений, всем этим рудоносным блокам присущи общие черты. Каждый блок образован пересечением трех специализированных на Au и Ag зон региональных разломов. Причем главная из них — рифтогенная — приурочена к южной или юго-восточной границе ОЧВП, а две другие секут ее под разными углами. В зависимости от ширины и направления зон блоки имеют разную конфигурацию, площадь их колеблется от 12 до 50 тыс.км² (см. рис. 1, вставка в середине журнала). Такие рудоносные блоки названы по основным месторождениям, находящимся в их пределах: Хака́нджинский, Кара́мкенский, Дука́тский, Серге́евский (с запада на восток).

Характерно, что во всех блоках, кроме Хака́нджинского, месторождения приурочены к разломам или зонам разломов, ограничивающим блоки. Эти разломы пересекаются менее крупными, контролируя локализацию оруденения.

Таким образом, космоструктурной прогнозной моделью рудных таксонов в ранге рудных областей, содержащих золотосеребряные месторождения ОЧВП, являются тектонические блоки, образованные при пересечении трех зон разломов, одна из которых, главная — рифтогенная. Поэтому в восточной части ОЧВП в пределах Чукотского АО выделено 3 перспективных блока: Купольный, Валунистый (по названиям входящих в эти блоки месторождений) [8] и Восточный. Купольный блок наиболее крупный во всем ОЧВП — примерно 100 тыс.км², площадь Валунистого блока примерно 45 тыс.км². Отметим, что месторождение Валунистое также приурочено к границе блока. Площадь Восточного блока около 16 тыс.км².

Самая крупная по размерам — Купольная область охватывает центральную часть вулканоплутонического пояса в составе Чукотского АО, вмещает ряд локальных вулканогенных прогибов и часть перивулканической зоны и содержит золотосеребряные месторождения Двойное и Купол.

Валунистая рудная область локализована в пределах Паляваам-Кытеннаваамского вулканогенного прогиба и вмещает на севере Майское золоторудное месторождение, а на юге золотосеребряное месторождение Валунистое.

Следует отметить, что отдешифрированные многочисленные кольцевые и дуговые структуры детально не анализировались на континентальном УГ при выявлении закономерностей размещения золотосеребряных месторождений. Как показывает опыт, рудоконтролирующая роль этих структур четко выявляется при металлогенических исследованиях регионального УГ (масштаб 1:1 000 000). При идентификации кольцевых структур обнаружено, что многие из них соответствуют вулканотектоническим и плутоноотектоническим постройкам.

Кроме того, отметим, что многие кольцевые и линейные структуры, выделенные по геологическим и геофизическим данным, отражены и уточнены по результатам дешифрирования.

Так, граница блоков 1 и 2 земной коры, выявленных по геофизическим данным, полностью совпадает с региональным разломом по данным ДЗ (мыс Сердце-Камень — восточная часть залива Креста). Граница блоков 2 и 3 отвечает северо-восточной границе трансформной зоны разломов, ограничивающей с северо-востока по линии Чаунская губа — Анадырский лиман, выделенную нами рудную область Купольную. Граница блоков 3 и 4 расположена в 60—70 км к востоку от региональной зоны разломов длиной ~750 км, повторяя ее очертания (Пенжинская губа—устье р.Омолон). Судя по смещению этих структур можно предположить, что граница блоков наклонена к северо-востоку.

Дуговые структуры, выделенные по геофизическим данным и контролируемые месторождения, в большинстве случаев совпадают с отдешифрованными дугами или «складываются» из отдельных разломов. Также наблюдается совпадение зоны глубинных разломов с выявленным по МДЗ рифтом (юго-восточная часть региона в пределах главной зоны разломов).

Геолого-тектонические данные. Геолого-тектонические особенности ОЧВП в пределах Чукотского АО и ближайших сопредельных территорий связаны с их положением как крайней северо-восточной части всего пояса. Эта часть ОЧВП, при рассмотрении с позиций континентального уровня генерализации данных, представляет собой продолжение главных структур его центральной части (вдоль берегов залива Шелихова до верховьев р.Анадырь) и его фланговую часть на Чукотском полуострове. Юго-западная часть ОЧВП в пределах Чукотского АО граничит на юго-востоке с Корякско-Камчатской аккреционной складчатой системой, имеющей новообразованную неоген-верхнемеловую континентальную кору. Эта граница — продолжение глобального Восточно-Азиатского глубинного разлома и представлена здесь системой региональных разломов и трансформных сдвигов, ограничивающих с юго-востока Пенжино-Анадырский палеорифт, который входит в Чукотскую часть ОЧВП.

Вулкано-плутонический пояс в указанной части, как и в других частях пояса (Магаданская и Охотская), развивался неравномерно в период от нижнего мела до верхнего палеогена: в начальный (нижнемеловой) этап вдоль поперечных к главной структуре локальных грабенов, а затем в основной, верхнемеловой—палеогеновый этап, образуя линейные вулканические пояса, троговые прогибы и грабены. Анализ опубликованных материалов (А.А.Сидоров, Р.Б.Умитбаев, И.Н.Котляр) свидетельствует о формировании вулкано-плутонического пояса как окраинно-континентальной структуры, возникшей на стыке Палеосевероазиатского континента и северо-западного Тихоокеанского сегмента с океанической корой. Он развивался вдоль системы окраинно-континентальных рифтов и субдукционных зон на стыке континент—океан. Следствием этого явилось существование в пределах Чукотской части ОЧВП в верхнемеловом вулканическом комплексе повторяющихся в разрезе ассоциаций вулканитов андезитобазальтового и риолитового состава известково-щелочного натрового ряда, также как и трахириолит и трахиандезит-трахириолитового состава с калиевой специализацией. Такая петрографическая особенность вулканитов характерна для породных ассоциаций, вмещающих крупное, преимущественно серебряное с золотом, месторождение Дука в Омсукчанском грабене и рядовое золотосеребряное месторождение Карамкен в Хасынском районе Магаданской об-

ласти. Типичное структурное проявление вулканизма в упомянутой тектонической обстановке — формирование крупных вулкано-структур оседания, наследующих кальдеры обрушения, сопровождаемые брекчиевыми зонами — главными структурами для золотосеребряного оруденения. Характерно также образование продольных грабенов и прогибов, сложенных мощными толщами последовательно формирующихся вулканитов и контролируемых линейными зонами региональных разломов глубинного заложения. Такие структуры часто сопровождаются зонами регионального развития низкотемпературных метасоматитов флюидно-гидротермального происхождения, что типично для рудных областей, вмещающих золотосеребряные месторождения.

Прогибы и грабены, поперечные к направлению главной северо-восточной структуры в пределах Чукотской части, как и в целом в ОЧВП, приурочены к линейным зонам тектонической активизации континентальной коры, таким как, например, рифтогенная Южно-Ануйская шовная зона. Она формировалась в верхнеюрский—нижнемеловой период активизации. На ее продолжении находится в пределах ОЧВП Верхнеукагтынский грабен, перспективный для обнаружения золотосеребряного оруденения, поскольку на его замыкании расположена крупная Верхнеанадырская вулкано-структура оседания, несущая Арыкэваамское золотосеребряное рудопроявление. Кроме того, этот грабен пересекает продольный, внутренний для ОЧВП, Яблоно-Мечкереевский прогиб, вмещающий три крупные и перспективные на оруденение вулкано-структуры оседания — Верхнеяблонская, Пеледонская и Мечкереевская. Причем Мечкереевская вмещает известное в Чукотском АО золотосеребряное месторождение Купол (рис. 2).

Другая, подобная рассмотренной, поперечная структура — Эльхаквунский грабен, на восточном замыкании которого расположена Интекинская вулкано-структура оседания. Этот грабен косо пересекает северную часть наиболее крупного в пределах Чукотского АО Паляваам-Кытепнааваамского вулканогенного прогиба, прослеживаемого с севера на юг вдоль глубинного Майско-Анадырского разлома на протяжении около 400 км. Прогиб на юге осложнен зоной разломов и вмещает золотосеребряное проявление Валунистое, а на севере расположено крупнейшее на Северо-Востоке России золоторудное месторождение Майское и Коэквунская вулкано-структура оседания. Таким образом, данный прогиб — одна из перспективных на золотосеребряное оруденение тектонических структур ОЧВП на территории Чукотского АО.

Продольные структуры, перспективные на золотосеребряное оруденение в главной зоне разломов ОЧВП в Чукотском АО, представлены также Чуванско-Верхнеанадырским грабеном, залегающим в Пенжино-Анадырском рифте, на юго-восточном продолжении которого в Камчатской области расположен Холоховчанский грабен, вмещающий в краевой части Сергиевское золотосеребряное месторождение. Здесь же находится крупная Пенжинская вулкано-структура оседания, типичная для рудоносных грабенов ОЧВП (например, Омсукчанский грабен с крупнейшим золотосеребряным месторождением Дука) [5].

Вулкано-плутонический пояс как окраинно-континентальная структура несогласно залегает на структурах древней архей-протерозойской континентальной коры, которая сложена докембрийскими массивами — Чукотский, Анадырский, Тайгоносский и Омолонский (см. рис. 2).

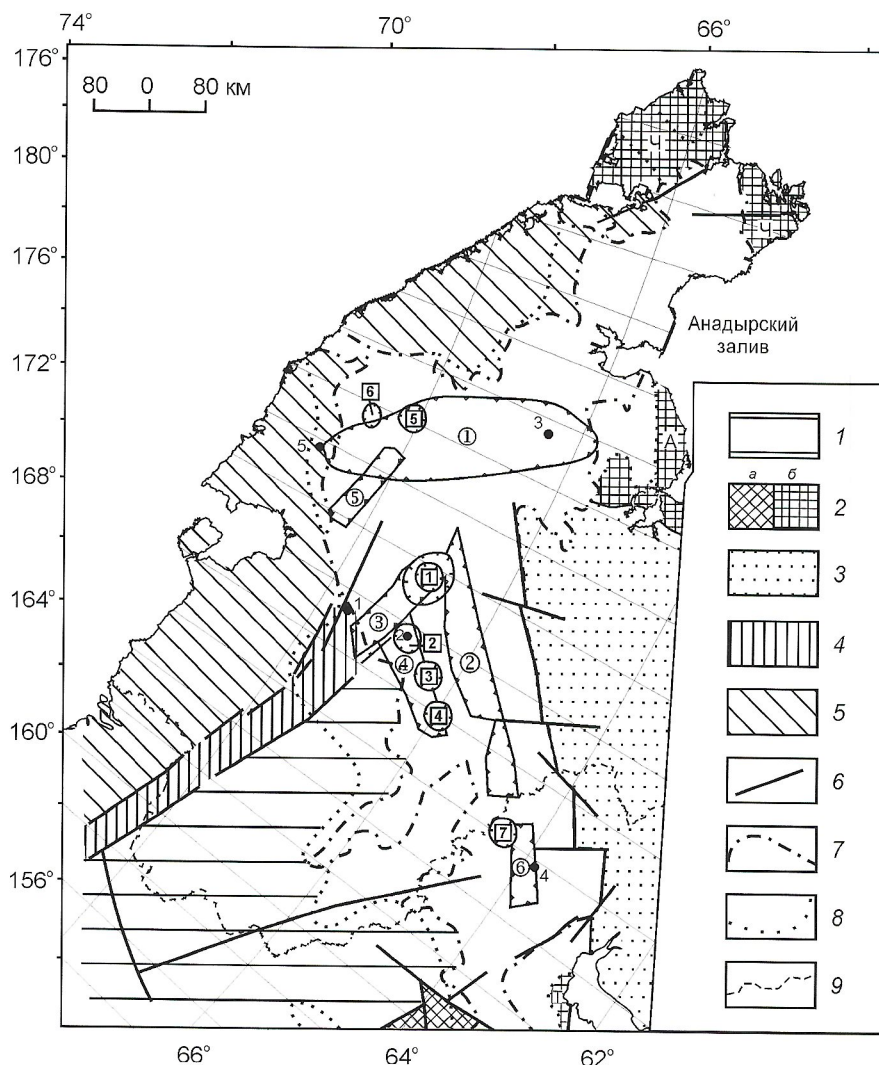


Рис. 2. Геолого-тектоническая схема Охотско-Чукотского вулканогенного пояса в пределах Чукотского АО. Составлена на основе МДЗ с использованием материалов Р.Б.Умитбаева, 1986; В.Ф.Белого, 1977 и А.А.Сидорова, 1966:

1 — Алазейско-Олойская орогеническая система (S—J₂); 2 — докембрийские массивы: а — Омолонский, б — Анадырский (А), Тайганосский (Т) и Чукотский (Ч); 3 — Корьякско-Камчатская аккреционная система (K₂—N); 4 — Южно-Ануйская шовная (рифтогенная) зона тектонической активизации (J₃—K₁); 5 — Ануйско-Чаун-Чукотская орогеническая система (P₂—J₂); вулканогенные грабены и прогибы, цифры в кружках: 1 — Паляваам-Кытепнааваамский, 2 — Чуванско-Верхнеанадырский, 3 — Верхнеугактынский, 4 — Яблоно-Мечкереевский, 5 — Эльхаквунский, 6 — Холоховчанский; крупные вулканоструктуры оседания в пределах ОЧВП и их номера, цифры в квадратах: 1 — Верхнеанадырская, 2 — Мечкереевская, 3 — Пеледонская, 4 — Верхнеяблонская, 5 — Интекинская, 6 — Козквунская, 7 — Пенжинская; 6 — основные региональные разломы; месторождения (кружки): золотосеребряные — 1 — Двойное, 2 — Купол, 3 — Валунистое, 4 — Сергиевское; золотое — 5 — Майское; границы: 7 — сплошных вулканических полей ОЧВП [7], 8 — перивулканической зоны ОЧВП [7], 9 — Чукотского АО

Омолонский перекрыт палеозойским платформенным чехлом. Более молодые структуры континентальной коры, на которых залегает ОЧВП, представлены палеозойско-нижнемезозойскими орогеническими системами: 1) Ануйско-Чаун-Чукотская — ее развитие (верхняя пермь—средняя юра) совпадает с развитием золотосеребряного верхоянского комплекса, проявленного в пределах юго-западной части ОЧВП; 2) Алазейско-Олойская — развитие началось в раннем палеозое параллельно с отложением платформенного чехла Омолонского массива.

Следовательно, геологическими критериями размещения среднего и более крупного по запасам золотосеребряного оруденения в ОЧВП являются продольные и поперечные (по отношению к главной структурной зоне) грабены и прогибы рифтогенного происхождения, а также находящиеся в их пределах вулканоструктуры оседания, сопровождаемые брекчиевыми зонами.

Геофизические данные (по А.С.Гринсону). Как свидетельствует опыт [5], особенности строения земной коры, ее блоковая делимость непосредственно обуславливают характер золотосеребряного оруденения. На континентальном УГ мощность консолидированной земной коры — важный индикатор для выявления крупнейших минералогически специфических структур (блоков) литосферы. По комплексу карт глубинного строения, составленному во ВНИИГеофизика, и картам магнитного и гравитационного полей бывшего СССР в масштабе 1:2 500 000, а также их градиентов в масштабе 1:5 000 000, рассчитанных в

ЦНИГРИ и ИМГРЭ [3, 6], в пределах ОЧВП выделяется ряд крупных блоков земной коры (см. рис. 3, вставка в середине журнала). Их границы — глубинные разломы. Анализ золотосеребряного оруденения ОЧВП на континентальном УГ показал, что более перспективны на высокую концентрацию оруденения блоки консолидированной земной коры с максимальной мощностью, где активно проявлены орогенные процессы и концентрируются крупные месторождения. В их пределах выявлено несколько критериев контроля оруденения. Описание блоков приведено с востока на запад.

Первый из них расположен на крайнем Северо-Востоке Чукотки, имеет относительно других блоков небольшую площадь и наименьшую для рассматриваемого региона мощность консолидированной коры (около 30 км) и мелкие изометричные морфоструктуры ее основания.

Второй блок характеризуется преимущественно субширотным простиранием морфоструктур подошвы консолидированной коры и ее большей мощностью 45 км. Южная граница блока прослеживается между Чаунской губой и Анадырским лиманом и протягивается в 50 км южнее крупного линеймента, выделенного по данным дистанционного зондирования.

Третий блок имеет северо-восточную ориентировку единой морфоструктуры подошвы коры. Мощность консолидированной коры в его пределах 35—40 км.

Четвертый блок преимущественно северо-восточного простирания морфоструктур подошвы коры. Мощность ее

консолидированной части 50 км. Его граница проходит по Наяханскому и Конгинскому хребтам.

Пятый блок субширотного простирания морфоструктур основания коры. Няхской и Сеймчано-Буюндинской впадинам, расположенным в пределах блока, соответствуют глубинные структуры с относительно уменьшенной мощностью консолидированной коры, составляющей 35 км при ее средней толщине 40—45 км.

Шестой блок однороден по мощности и представляет крупнейшую субширотную глыбу консолидированной коры толщиной около 40 км.

Геофизические критерии золотосеребряного оруденения ОЧВП следующие: 1) заключается в приуроченности крупных месторождений к периферии кольцевых и дуговых структур диаметром 70—120 км в местах их пересечения с разрывными нарушениями; кольца и разломы фиксируются по данным как магниторазведки, так и гравиметрии (см. рис. 3, вставка в середине журнала). Результаты анализа золотосеребряного оруденения ОЧВП на континентальном УГ соответствуют представлениям о тектоно-магматической деятельности, с которой связана рудоносность, проявленной в виде процессов разуплотнения верхней литосферы и отмечаемой минимумами силы тяжести, обусловленными гранитизацией в результате внедрения магмы салического состава [10]. Проведенная оценка глубин нижних кромок плотностных неоднородностей по минимумам силы тяжести ОЧВП оценивается в 15—50 км [4]; 2) выражается в приуроченности оруденения к глубинным разломам (повышенные горизонтальные градиенты поля силы тяжести) в местах их смещения по секущим дизъюнктивам (см. рис. 3, вставка в середине журнала). Как частность, рудоконтролирующие разломы выделяются на восточной границе ОЧВП по гравитационной ступени, проявленной в резкой смене отрицательных и положительных значений поля силы тяжести.

Структуры, контролирующие эталонные золотосеребряные месторождения юго-западной части ОЧВП. *Хаканджиса* — кольцевая структура диаметром 80 км, рассеченная разломом; месторождение находится в 15 км от узла пересечения (критерий 1 контроля оруденения).

Карамкен — дуговая структура диаметром 120 км, утыкающаяся в разлом; месторождение находится в 20 км от узла ее пересечения с разломом (критерий 1).

Дукат — дуговая структура диаметром 70 км, утыкающаяся в разлом, в 20 км от узла пересечения с внутриблоковым региональным разломом (критерий 1).

Кубака — внутриблоковый разлом со смещением по трансформному разлому с амплитудой ~10 км, в 5 км от узла пересечения (критерий 2).

Эвенское — кольцевая структура диаметром 90 км, рассеченная разломом, ~10 км от узла пересечения (критерий 1).

Сергиевское — граница блока со смещением по трансформному разлому, ~30 км от узла пересечения (критерий 2).

Результаты выявления по геофизическим данным участков, перспективных на золотосеребряное оруденение, показаны на рис. 3 (см. вставку в середине журнала). Участки разделены на две группы. К первой отнесены те, которые выделены в пределах структур, контролирующих известные месторождения и рудопоявления Чукотского АО, ко второй — те, которые идентифицированы по рудоконтролирующим факторам (структурам), установленным для всей территории ОЧВП.

Прогнозирование золотосеребряного оруденения ОЧВП в пределах Чукотского АО на основе МДЗ. Прогнозирование проведено на основе комплексной прогнозной модели, являющейся результатом сочетания трех частных моделей — космоструктурной, геолого-тектонической и геофизической. В целом частные модели увязывались между собой на основе структурно-тектонической схемы.

Космоструктурная прогнозная модель. Космоструктурные факторы контроля золотосеребряного оруденения ОЧВП следующие:

1. Тектонические блоки в ранге рудных областей, образованные пересечением зон разломов трех направлений, одна из них — главная, рифтогенная. Эти зоны разломов шириной несколько сотен километров и протяженностью до 1700 км, специализированы на золотое и серебряное оруденение и за пределами ОЧВП контролируют размещение крупнейших золотоносных районов Северо-Востока России. Наиболее известные зоны — Приохотская, Охотско-Чукотская, Чукотская ветви ОЧВП, Яно-Колымский золотоносный пояс, Приколымско-Камчатский линеймент, являющийся частью одноименной зоны, и др.

2. В ранге рудных районов контроль осуществляется кольцевыми и дуговыми структурами поперечником 20—110 км (по геофизическим данным 70—120 км), примыкающими к блокообразующим зонам разломов как с внешней, так и с внутренней стороны; рудоконтролирующие — внешние пояса кольцевых структур. Мелкие месторождения контролируются узлами пересечения внутриблоковых зон разломов и примыкающих кольцевых (дуговых) структур (см. рис. 1, вставка в середине журнала).

Геолого-тектоническая прогнозная модель. К геолого-тектоническим критериям контроля золотосеребряного оруденения ОЧВП относятся:

1. Крупнейшее золотосеребряное месторождение Дукат, приуроченное к поперечному прогибу по отношению к главной структурной зоне ОЧВП.

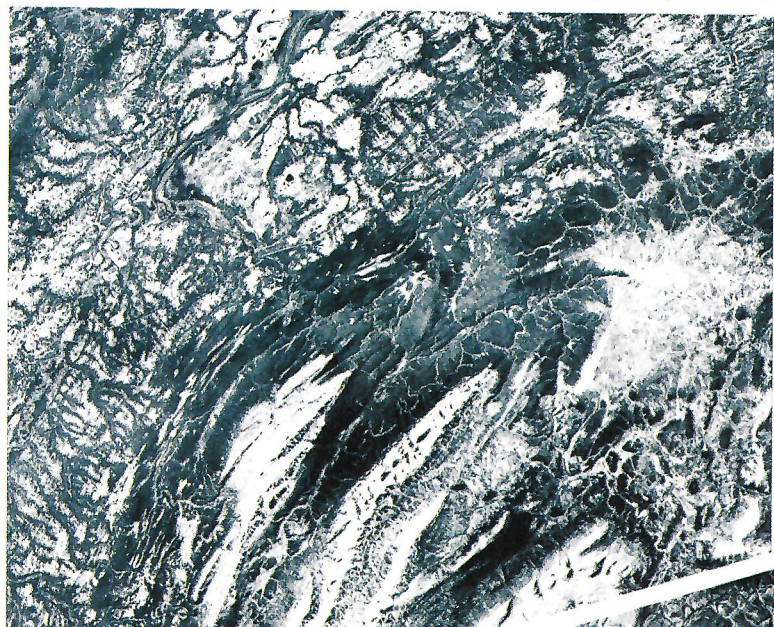
2. Менее крупные месторождения (Карамкен, Эвенское), приуроченные к продольным прогибам и грабенам по отношению к направлению главной структурной зоны ОЧВП.

3. В пределах этих тектонических структур рифтогенного происхождения, рудоконтролирующими являются вулканотектонические структуры оседания (диаметр 50—100 км), сопровождаемые брекчиевыми зонами. Они в большинстве случаев совпадают с кольцевыми и дуговыми структурами, выявленными по МДЗ и гравиметрическим данным (см. рис. 2).

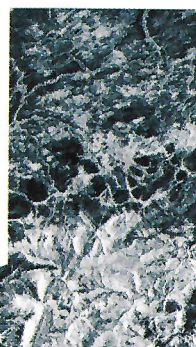
Геофизическая прогнозная модель. Геофизические критерии контроля золотосеребряного оруденения ОЧВП представлены ниже: 1) блоки мощностью консолидированной земной коры более 35 км; 2) границы блоков земной коры; 3) кольцевые и дуговые структуры диаметром 70—120 км. Участки пересечения кольцевых и дуговых структур глубинными разломами, в т.ч. со смещением, выявляемые по гравимагнитным данным; 4) глубинные разломы ОЧВП и зоны их трансформных нарушений.

В пределах перспективных блоков земной коры, благоприятных на обнаружение золотосеребряных месторождений, площади рудных районов ограничивались по формальному признаку, выражающемуся в том, что предельная площадь рудного района составляет примерно 10 тыс. км² [2]. Географическими центрами таких рудных

Канал
0,81-0,90 мкм



Канал
0,64-0,69 мкм



Канал
0,52-0,57 мкм

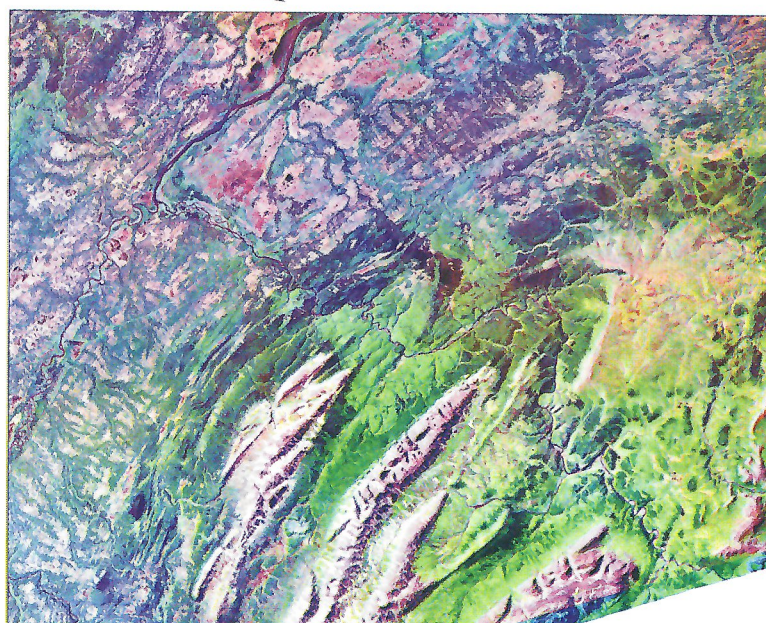
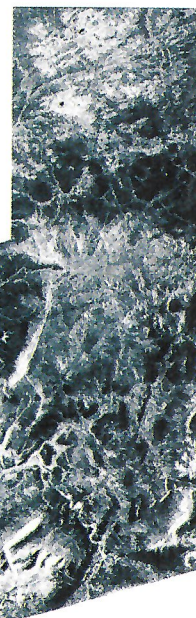


Рис. 3. Формирование дистанционной основы с использованием изображений, полученных в трех каналах камеры МК-4 и созданием цветного композита на их основе. Уменьшенный фрагмент трапеции Q-41-XIX



Рис. 4. Компоненты дистанционной основы Геологической карты России и сопредельных территорий масштаба 1:2 500 000. Созданы в ГУП «НИИКАМ» по данным второго канала (0,72-1,10 мкм) радиометров AVHRR, установленных на спутниках серии NOAA (съемки 1992-1995 гг.)

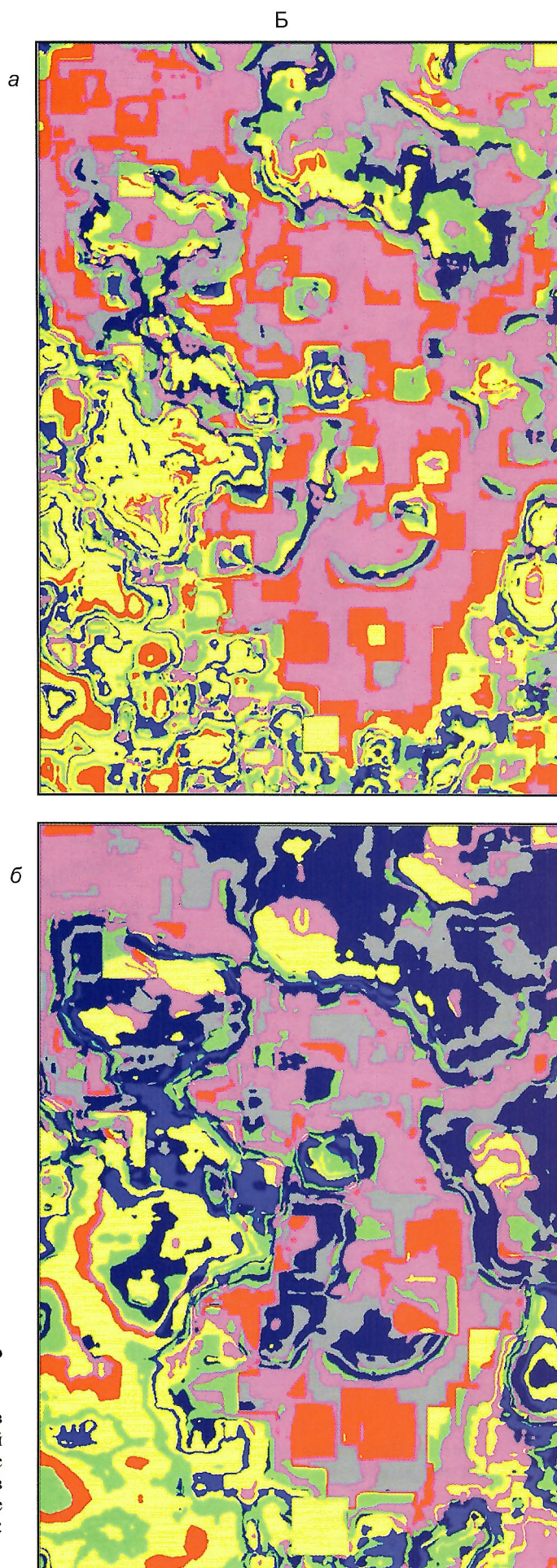
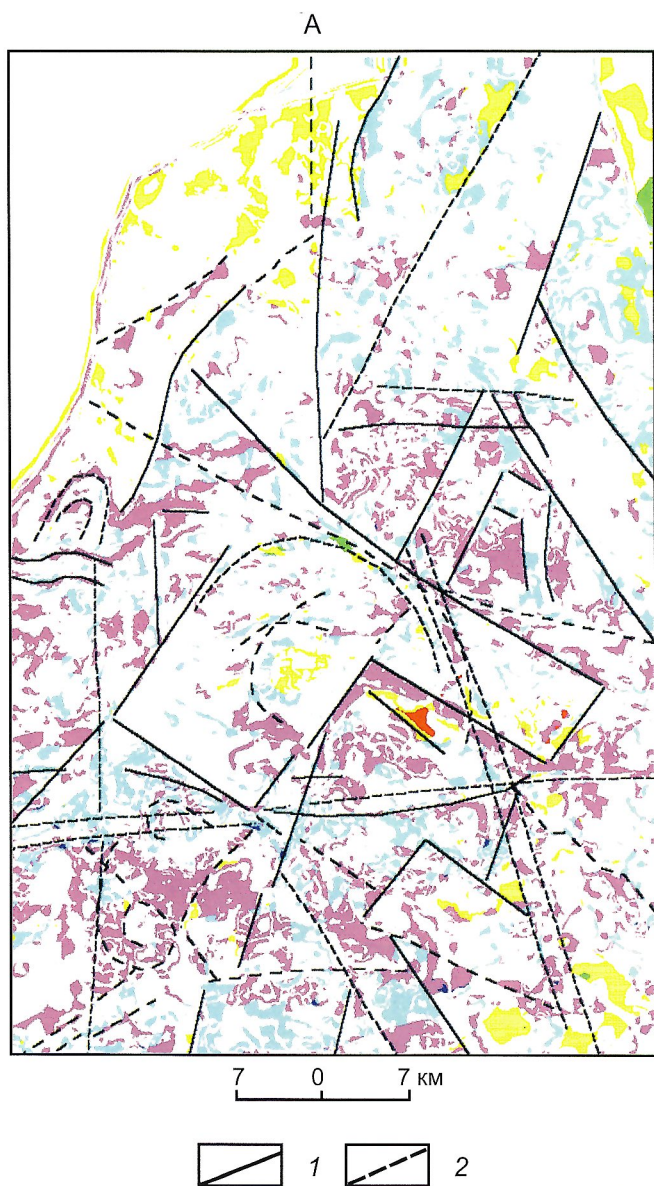


Рис. 5. Северо-западная часть Беломорско-Кулойского плато (номенклатурный лист Q-37):

изомерийные структуры: А - композиции изображений каналов 2 и 3 КС КАТЭ-200 и цифровых моделей поверхностей современного рельефа и рельефа кристаллического фундамента с элементами интерпретации, Б - статистических моментов изображения канала 2 КС КАТЭ-200; главные структурные элементы, выделенные по результатам кодирования, достоверно: 1 - более, 2 - менее; средняя глубина, км: а - ~2,1; б - ~3,1-3,2

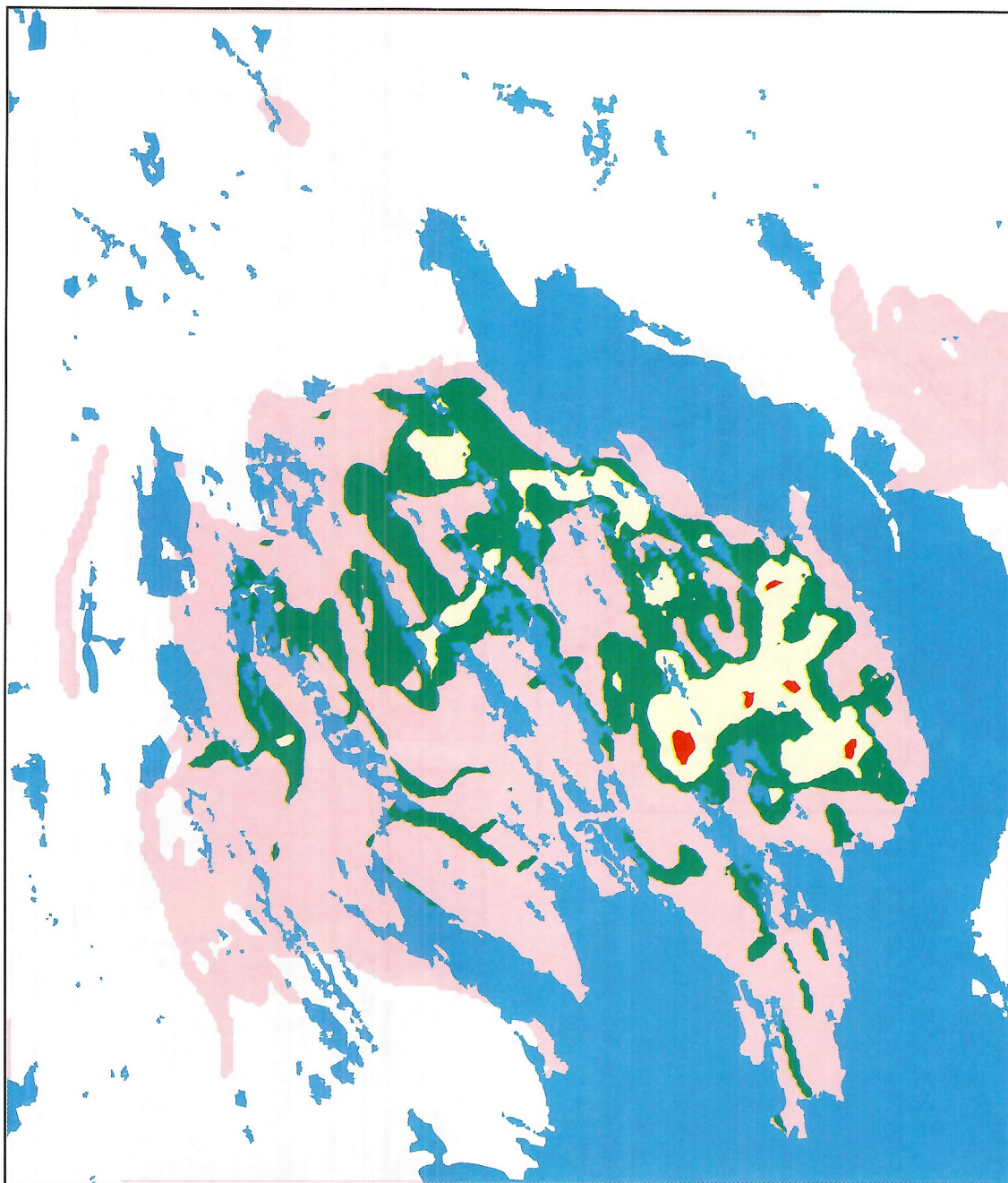


Рис. 6. Прогнозное заключение по платинометалльному рудному району Онежской рудной области Южной Карелии:

выделены площади, соответствующие степеням уверенности прогнозного заключения (в %): белый - менее 15; розовый - от 15 до 45; зеленый - от 45 до 65; желтый - от 65 до 85; красный - более 85

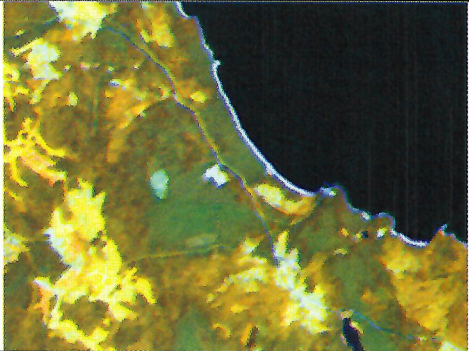
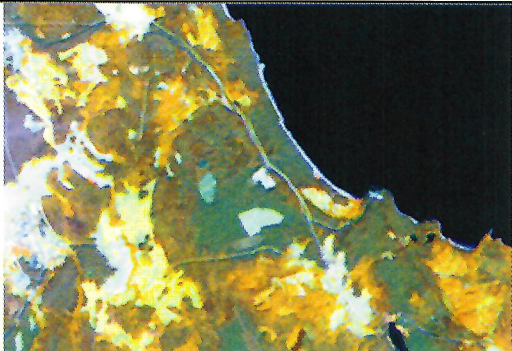
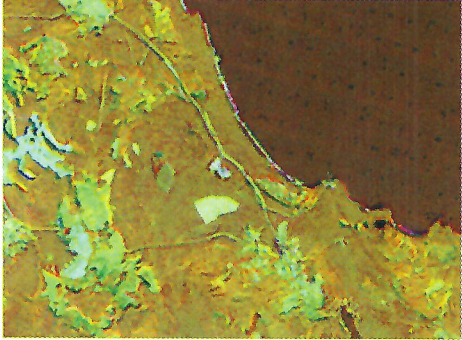
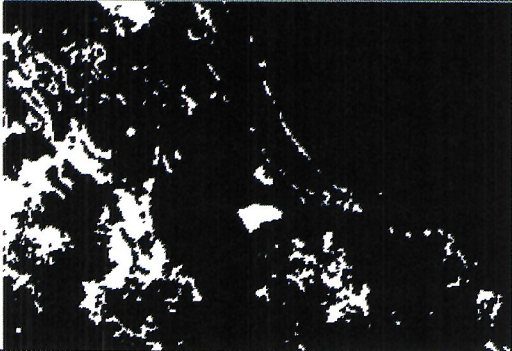
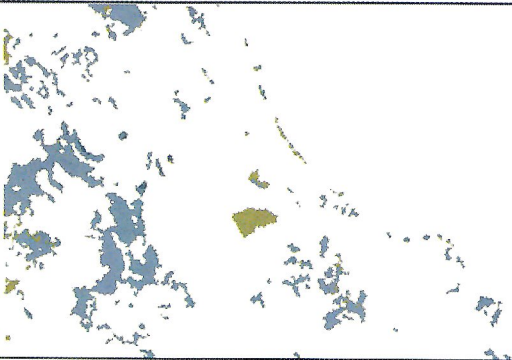
	
<i>Landsat 5 TM, 1996 г., цветная композиция RGB из 4, 5, 3 каналов</i>	<i>Landsat 7 ETM+, 1999 г., цветная композиция RGB из 4, 5, 3 каналов</i>
	
<i>Цветовая композиция RGB из разностей 4, 5 и 3 каналов снимков 1999 и 1996 гг.</i>	<i>Изображение - маска</i>
	
<i>Разности 4, 5 и 3 каналов после применения маски</i>	<i>Результаты классификация изменений</i>
	
<i>Классификация изменений после применения порога, с использованием файла дистанции</i>	<i>Изображение изменений после перекодировки классов и приведения к картографической проекции</i>

Рис. 2. Иллюстрация технологии выявления вырубок по космическим снимкам, полученным в разные годы

**Рисунок к статье Т.А.Половой, М.А.Шубиной
«Особенности изучения ландшафтов по радиолокационным снимкам»**

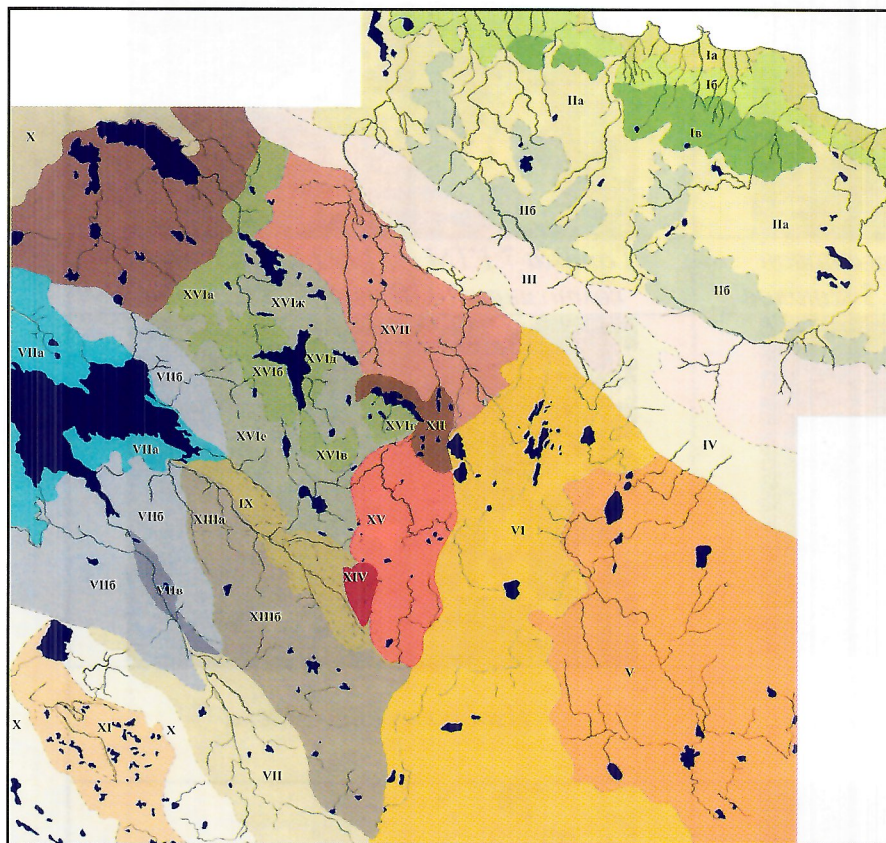
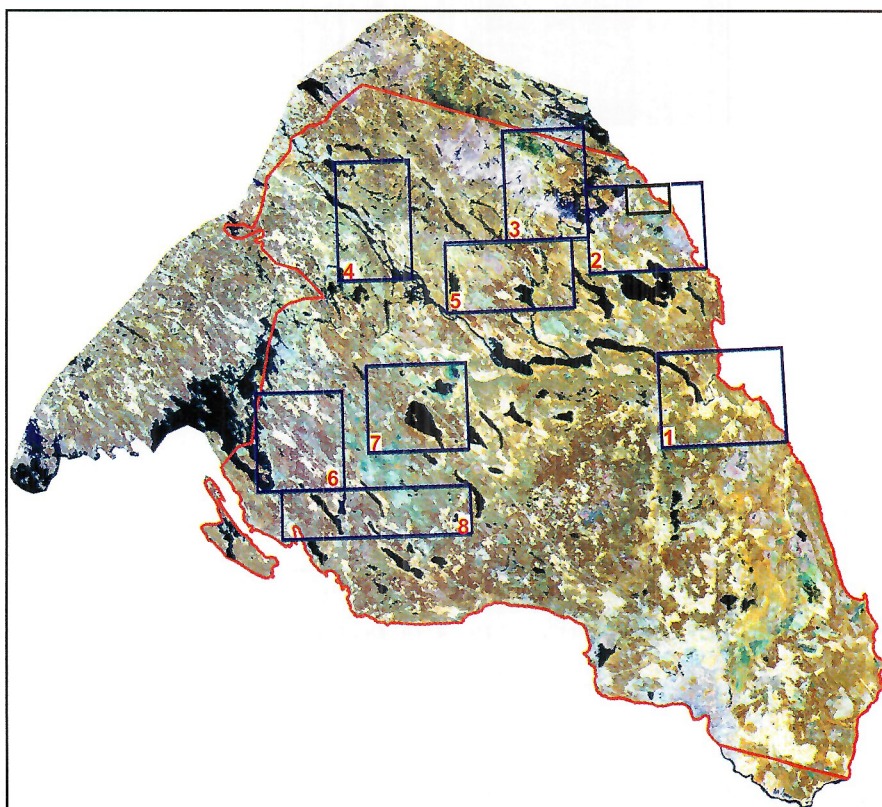


Рис. 5. Схема ландшафтного районирования

**Рисунки к статье А.А.Русановой, К.Л.Липияйна
«Мониторинг лесов Карельского перешейка по дистанционным данным на основе ГИС-технологий»**

Рис. 1. Космическое изображение Карельского перешейка по снимкам Landsat 7, полученным в 1999 и 2000 гг:

выделены участки: синие - тестовые, черный - иллюстрация технологии выделения вырубок; красный контур - территория оценки площадей вырубок



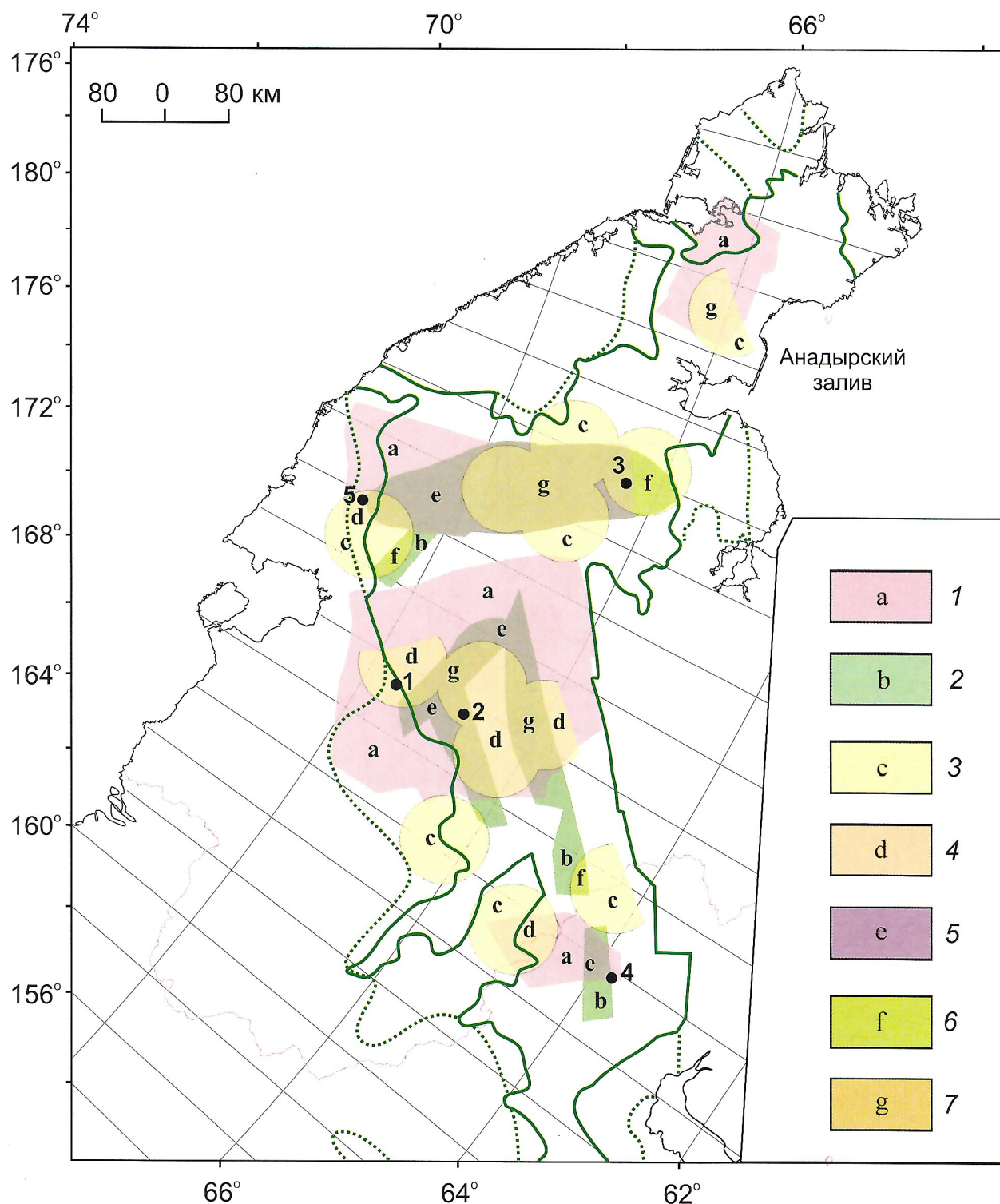


Рис. 4. Участки, перспективные на обнаружение золотосеребряного оруденения в Охотско-Чукотского вулканогенного пояса в пределах Чукотского АО по комплексу космоструктурных, геолого-тектонических и геофизических данных:

участки перспективные на обнаружение золотосеребряного оруденения по данным: 1 - дистанционного зондирования, 2 - геолого-тектоническим, 3 - геофизическим, 4 - дистанционного зондирования и геофизическим, 5 - дистанционного зондирования и геолого-тектоническим, 6 - геолого-тектоническим и геофизическим, 7 - трех методов; месторождения: золотосеребряные - 1 - Двойное, 2 - Купол, 3 - Валунистое, 4 - Сергиевское; золотое - 5 - Майское; остальные условные обозначения см. на рис. 1

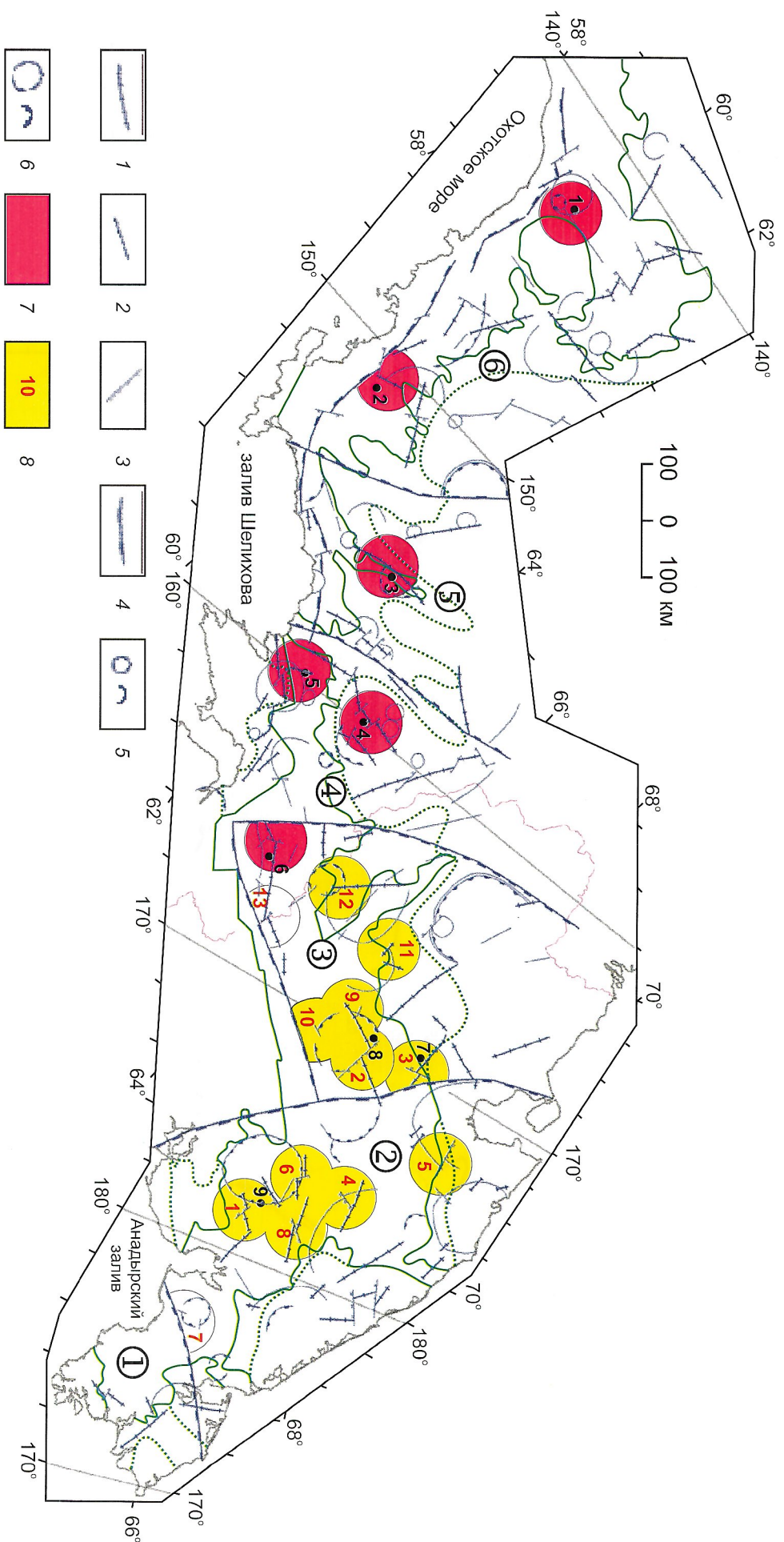


Рис. 3. Структурно-тектоническая схема Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. По геофизическим данным с результатами металлогенической интерпретации:

разломы: 1 - глубинные по гравиметрическим данным, 2 - по данным магнитометрии, 3 - трансформные, 4 - блокообразующие; изометрические положительные аномалии: 5 - гравитационные; 6 - магнитные, цифры в кружках - номера блоков земной коры, золотосеребряные месторождения: 1 - Хаканджа, 2 - Карамкен, 3 - Дукаг, 4 - Кубака, 5 - Эвенское, 6 - Сергиевское, 7 - Двойное, 8 - Купол, 9 - Валунистое; 7 - эталонные участки в ранне рудных районах, вмещающие крупные и средние золотосеребряные месторождения; 8 - участки в ранне рудных районах, перспективные на обнаружение золотосеребряного оруденения (по геофизическим данным). Эталонные и прогнозные участки не выходят за границы «геофизических» блоков, в пределах которых зафиксирована эталонная (протозона) ситуация; остальные условные обозначения см. на рис. 1

Рисунки к статье Е.А.Журавлева
«Космоструктурная позиция крупных золотосеребряных месторождений в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса»

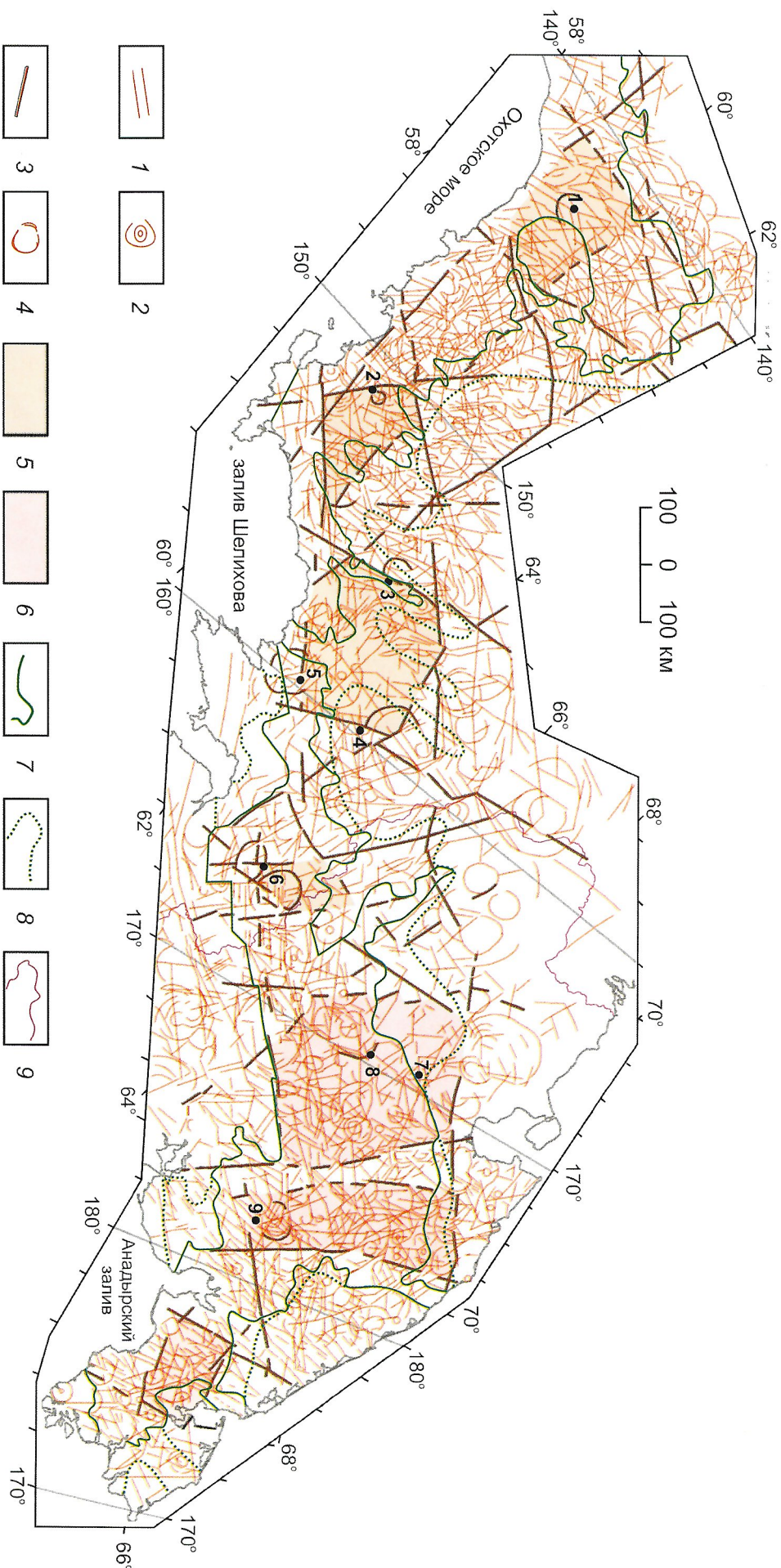


Рис. 1. Схема кольцевых и линейных структур Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и прилегающих территорий. По данным дешифрирования космических снимков с результатами металлогенической интерпретации:

1 - разрывные нарушения; 2 - кольцевые и дуговые структуры; 3 - блокообразующие разломы, ограничивающие золотосеребряные рудные области; 4 - кольцевые и дуговые структуры, контролирующие золотосеребряные месторождения; 5 - эфалонные блоки в ранге рудных областей с установленным золотосеребряным оруденением; 6 - протозируемые рудные области, граница: 7 - сплошных вулканических полей ОЧВП [7], 8 - перивулканической зоны ОЧВП [7], 9 - Чукотского АО; точки - золотосеребряные месторождения: 1 - Хаканджа, 2 - Карамкен, 3 - Дукат, 4 - Кубака, 5 - Эвенское, 6 - Сергиевское, 7 - Двойное, 8 - Купол, 9 - Валунистое

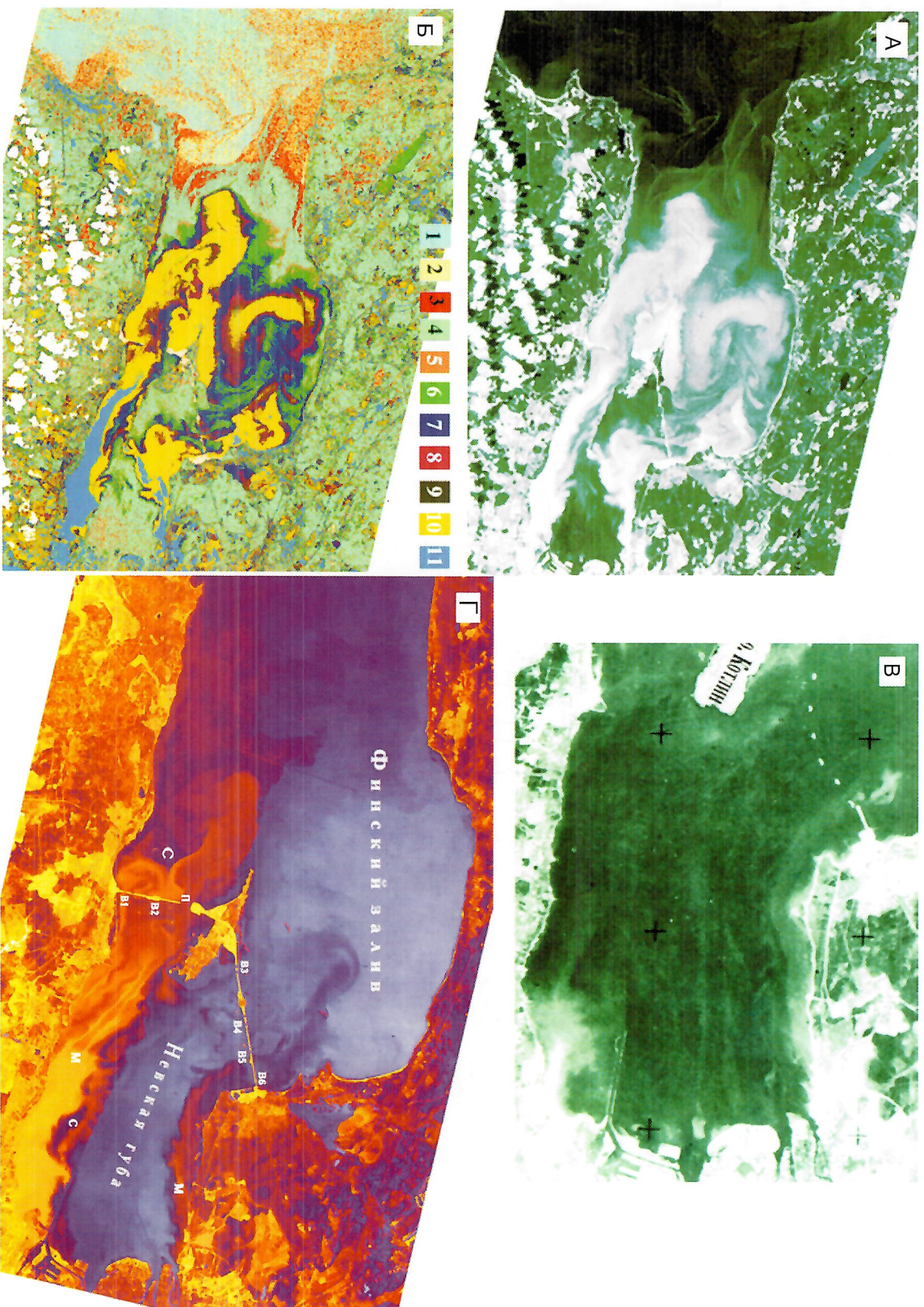


Рис. 6. Космические изображения Невской губы и восточной части Финского залива, отражающие состояние акватории при воздействии различных природных и антропогенных факторов:

А - ИСЗ РЕСУРС-Ф/КАТЭ-200 за 8 августа 1986 г.; Б - результаты классификации (1 - воды Финского залива, 2, 3 - ареалы интенсивного развития фитопланктона, 4, 5, 6 - ареалы с содержанием фитопланктона и взвешенных осадков (концентрация взвеси менее 10 мг/л); 7 - 10-15, 8 - 15-20, 9 - 20-25, 10 - 25-60, 11 - более 60; В - ИСЗ РЕСУРС-Ф за 6 мая 1983 г.; Г - ИСЗ РЕСУРС-Ф/КФА-1000 за 5 июля 1989 г. (М - шлейфы мутных вод, С - смешанные соленоватые воды, В1-В6 водопропускные отверстия, П - поран)

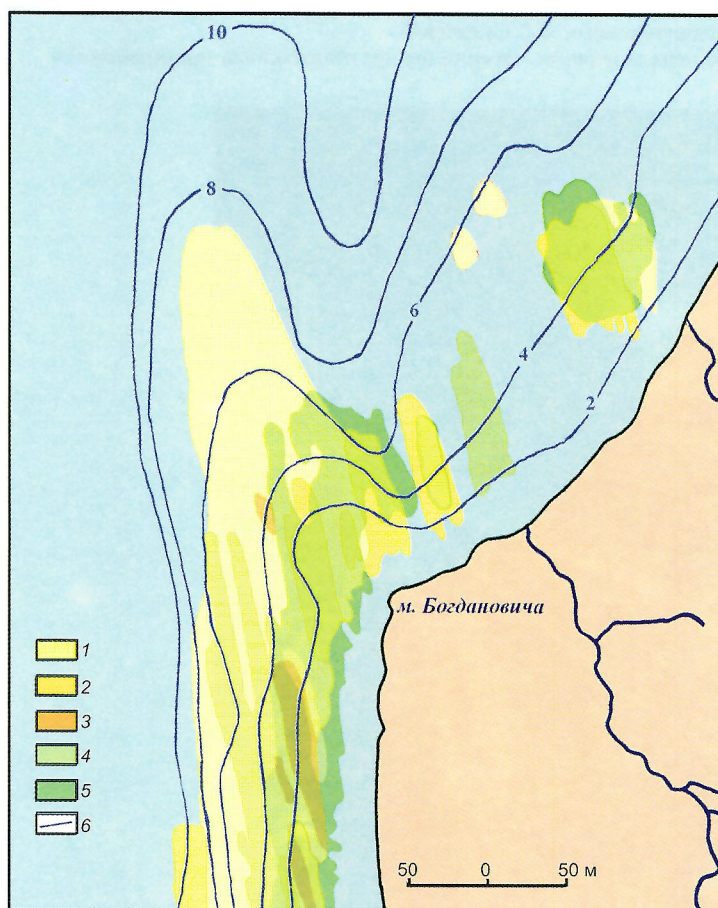


Рис. 4. Сопоставление площадей водорослевого покрова (ламинария) по аэрофотоснимкам 1967 г. (желтые тона) и 1990 г. (зеленые тона) в районе мыса Богдановича:

западное побережье Южного Сахалина: проективное покрытие (в %): 1-30, 2 и 4-30-70, 3 и 5-более 70; 6-изобаты



Рис. 5. Изображение участка побережья Балтийского моря в районе порта Вентспилс:

1 - песчаный пляж; 2 - ограждающие молы; 3 - зона аккумуляции; 4 - зона размыва; 5 - вынос р.Вента; 6 - направление вдоль берегового потока наносов

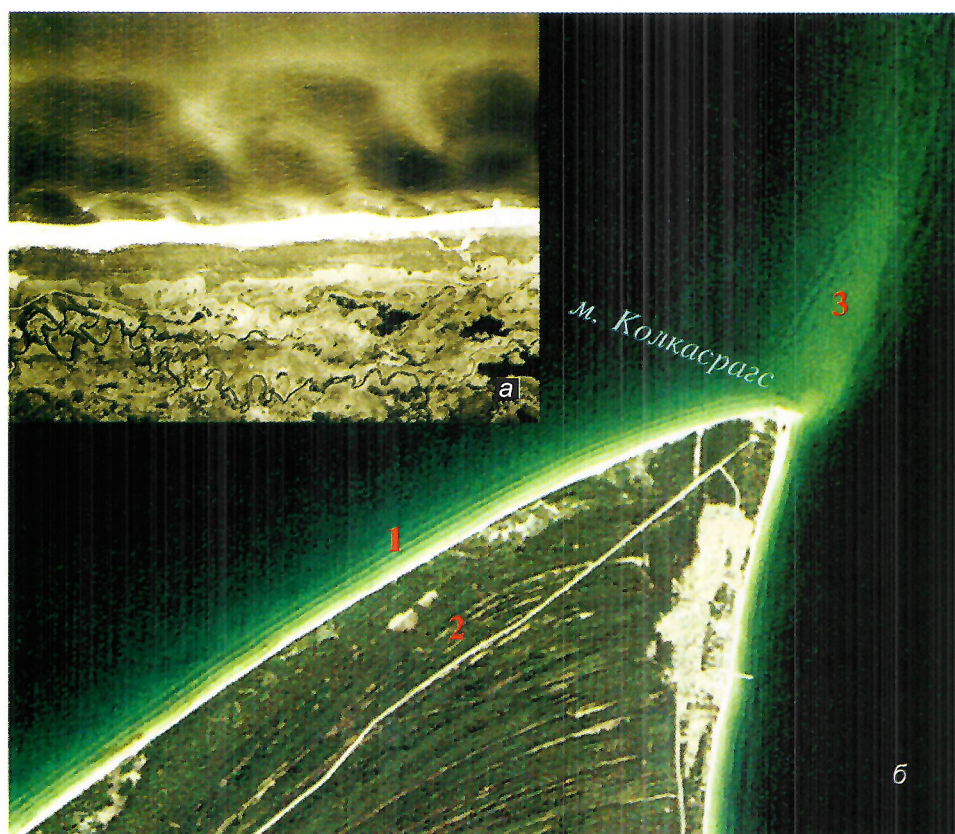


Рис. 2. Песчаные валы:

а - подводные песчаные валы фестончатого типа на побережье залива Простор (о.Итуруп, Курильские о-ва), среднемасштабный аэрофотоснимок; *б* - песчаные валы у южного побережья Балтийского моря в районе мыса Колкарагс, синтезированное изображение ADEOS/AVNIR, 1997 г.: 1 - подводные песчаные валы, параллельные берегу, 2 - валы на суше, 3 - подводная коса

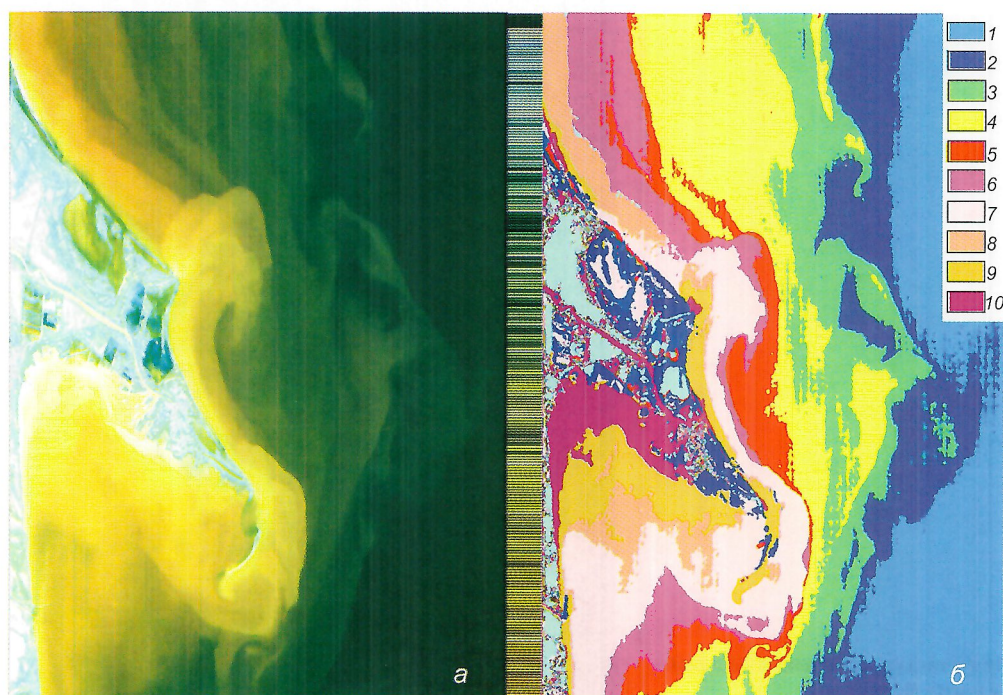


Рис. 3. Зона смешения морских и речных вод по данным ИСЗ Ресурс-О-3/МСУ-Э:

Западное побережье Каспийского моря, предустьевое взморье р.Кура: *а* - синтезированное изображение, *б* - результаты классификации - содержание взвеси изменяется от 10 до 800 мг/л (1-10)



Рис. 4. Полевая проверка вырубок, обозначенных на результирующей схеме 1996-1999 гг. Фото Н.В.Смирновой

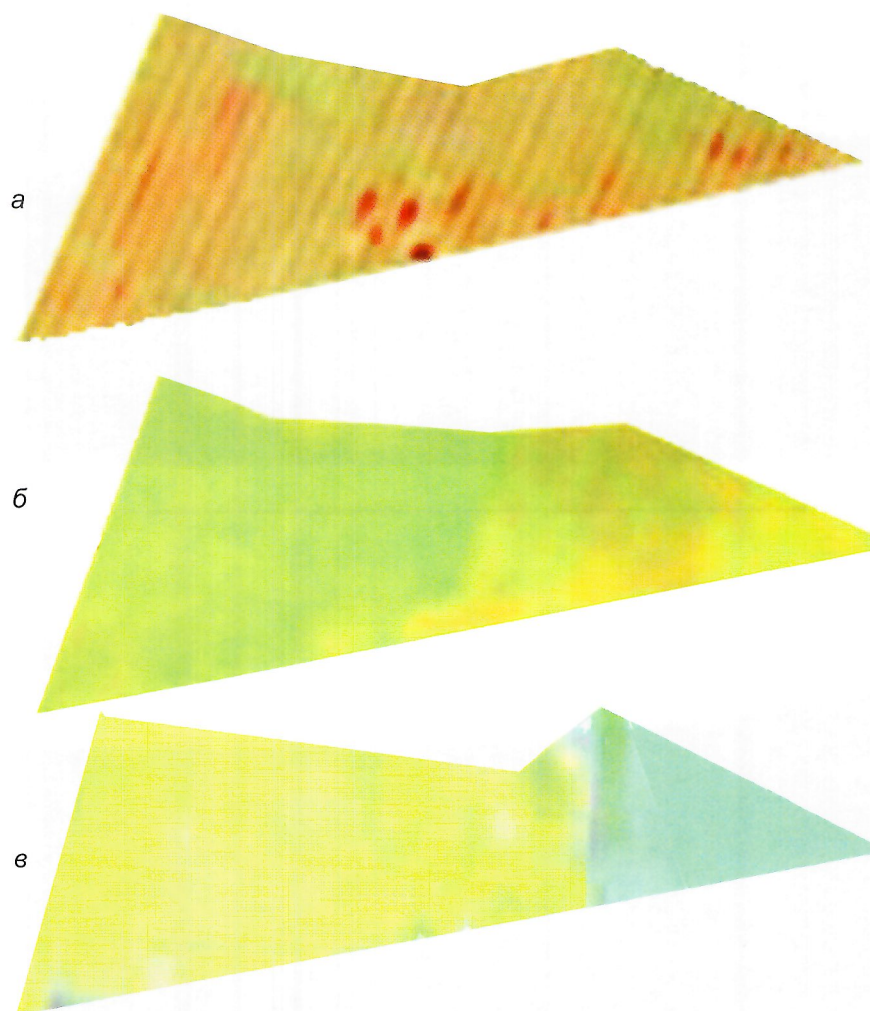


Рис. 2. Космическое изображение поля ячменя АОЗТ «Рождественское». IRS/LISS 05.05.03 (а), IRS/LISS 27.07.03 (б), Landsat TM 12.08.02 (в)



Рис. 3. Изображения поля ячменя АОЗТ «Рождественское» (слева направо): 18.06.03, 27.07.03, 04.08.03

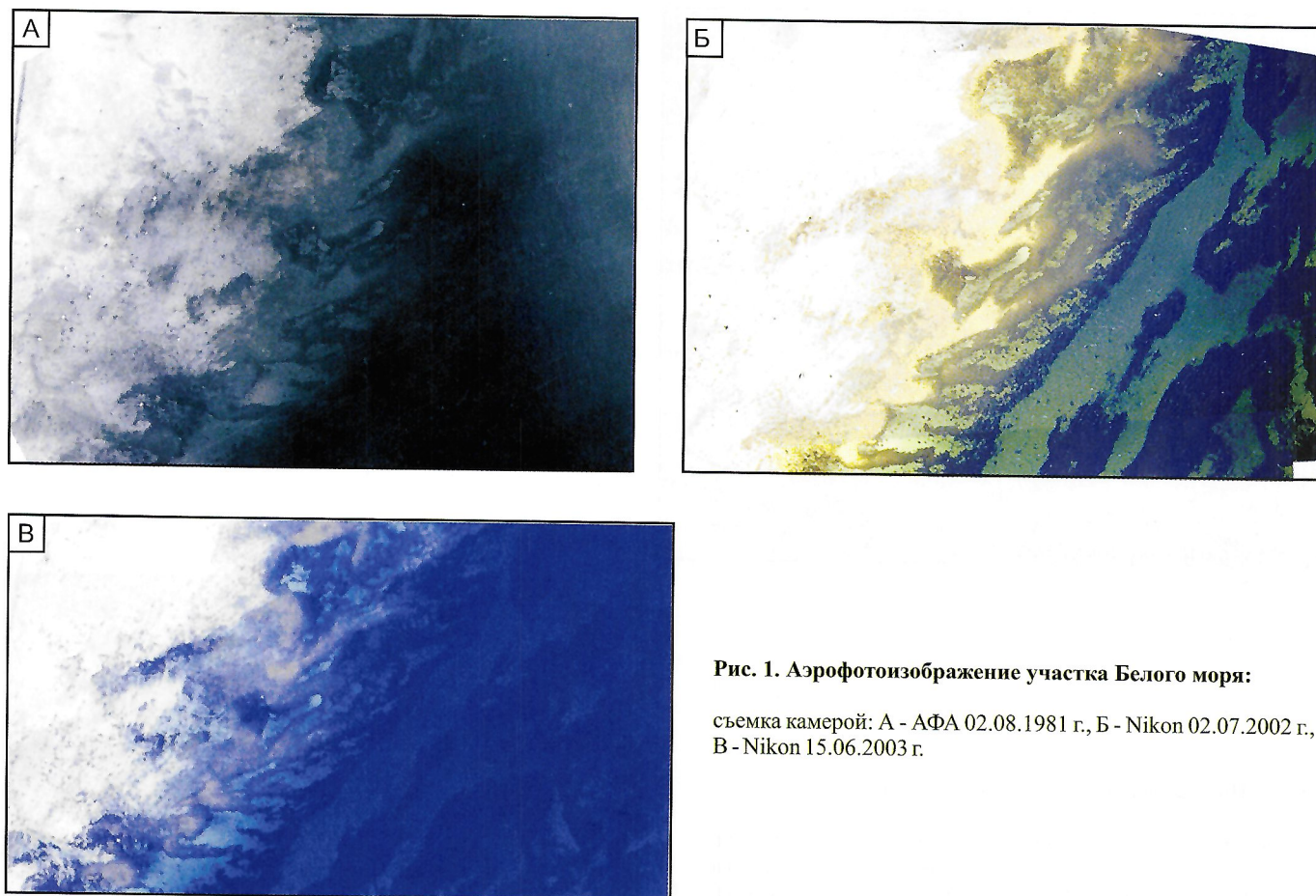


Рис. 1. Аэрофотоизображение участка Белого моря:

съемка камерой: А - АФА 02.08.1981 г., Б - Nikon 02.07.2002 г.,
В - Nikon 15.06.2003 г.

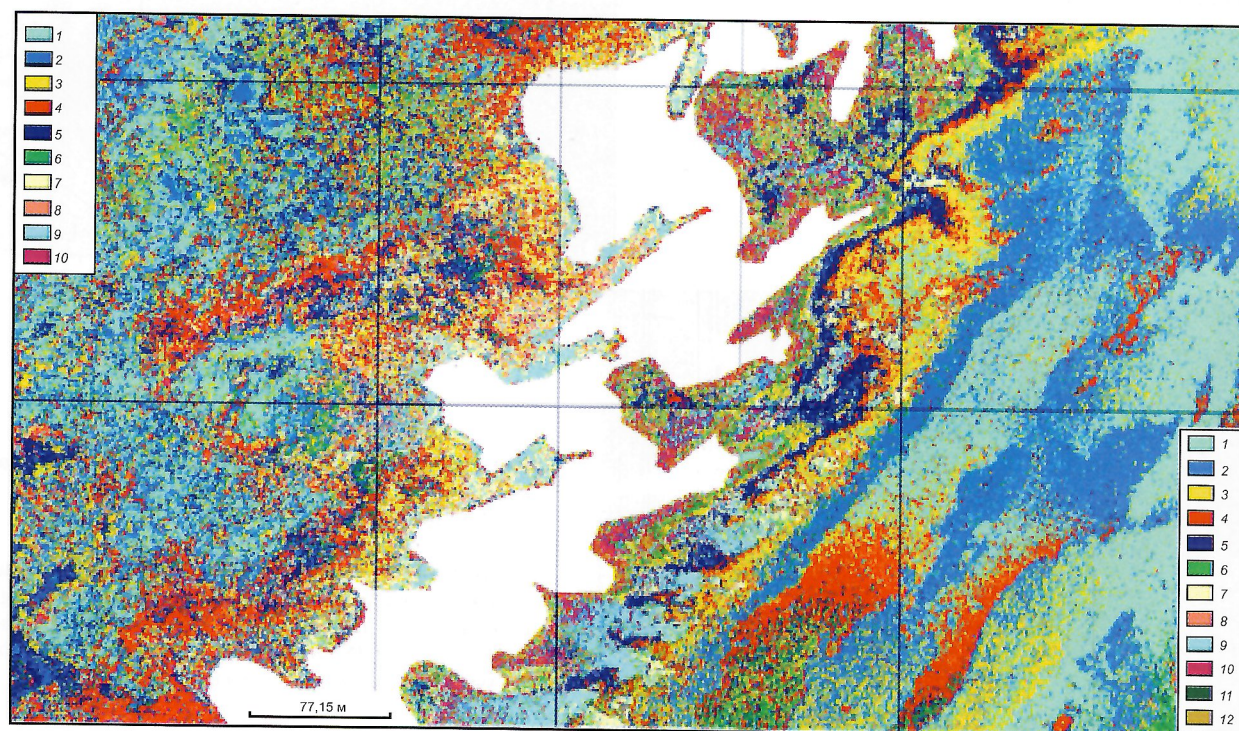


Рис. 2. Результаты классификации изображения литорали (слева) и sublittoral (справа) в районе восточная Муксалма.
Съемка 2002 г. Разбиение на 10 и 12 основных классов соответственно

Рисунки к статье И.А.Бычковой, С.В.Викторова
«Спутниковый мониторинг портовых комплексов Финского залива»

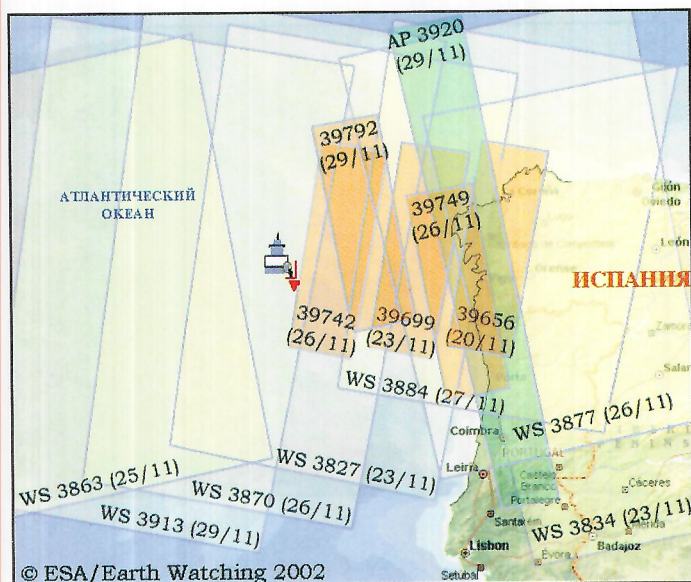


Рис. 1. Планирование радиолокационных съемок с ИСЗ Envisat и ERS-2 Европейским космическим агентством в районе аварии танкера «Престиж» 20-29 ноября 2002 г. [11]:

место аварии - красный треугольник

Рис. 3. Порты российской части Финского залива:

1 - действующие порты; нефтяной терминал: 2 - строящийся, 3 - проектируемый; порты, в которых обрабатываются танкеры: 4 - действующие, 5 - строящиеся, 6 - проектируемые; цифры - планируемая мощность нефтяных терминалов (в млн.т нефтепродуктов в год)

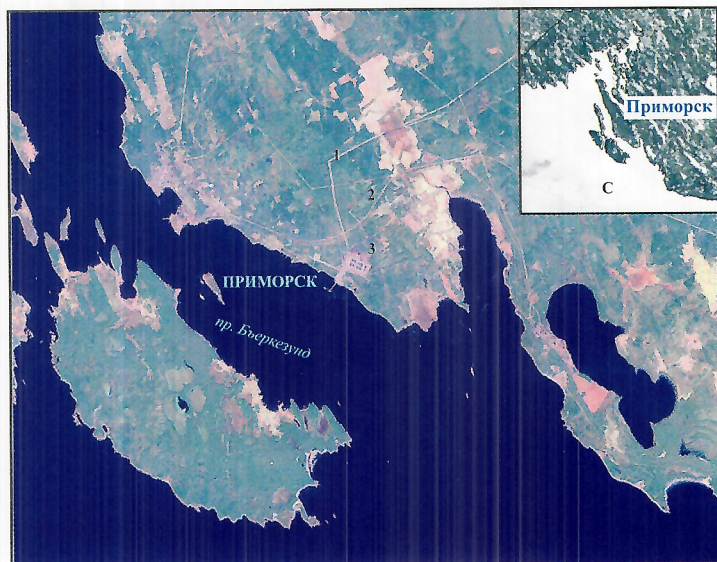


Рис. 4. Транспортно-технологический портовый комплекс в районе г.Приморск. Изображение ИСЗ Landsat, 2003 г.:

1 - Балтийская трубопроводная система, 2 - железнодорожные пути, 3 - нефтяные резервуары; врезка изображение района порта Приморск, полученное с ИСЗ Terra/MODIS зимой 2003 г.; хорошо виден канал, пробитый во льдах для судоходства (С)

районов согласно структурным критериям были приняты места (точки) пересечений кольцевых и дуговых структур глубинными разломами и глубинных дизъюнктивов с трансформными нарушениями.

Результаты прогнозирования. На континентальном УГ площади, в пределах которых прогнозируется наличие крупных золотосеребряных месторождений Чукотского АО, выявлены по данным дистанционного зондирования (рис. 4, см. вставку в середине журнала). Это четыре блока — Сергиевский, Купольный, Валунистый и Восточный (с запада на восток). Площади их составляют, соответственно (в тыс. км²), ~10,5; 100; 45 и 16. Они соответствуют рудным областям. Рудные таксоны следующего, регионального УГ — рудные районы — выделены по прогнозным моделям трех методов: дистанционного зондирования, геолого-тектонического и геофизического. Некоторые прогнозируемые участки выделены по данным одного или двух методов. Наиболее перспективные в отношении прогнозно-поисковых работ на золотосеребряное оруденение — участки, выделенные по данным трех методов.

Проведенное космическое зондирование для прогноза золотосеребряных месторождений в ОЧВП показали высокую эффективность. Поскольку крупных золотосеребряных месторождений в пределах Чукотского АО ОЧВП неизвестно, для разработки КПМ были использованы данные по таким месторождениям центральной и южной частей этого пояса. По материалам дистанционного зондирования были выявлены структурно-тектонические критерии контроля размещения месторождений и определены границы рудных областей, взятых за эталонные. Подоб-

ным образом установлены 4 рудные области в Чукотском АО, вмещающие известные мелкие золотосеребряные месторождения. Одна из них — Валунистая, наиболее перспективная.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аэрокосмические методы геологических исследований* // Под ред. А.В.Перцова. — С-Пб., 2000.
2. *Бродовой В.В.* Геофизические исследования в рудных провинциях. — М.: Недра, 1984.
3. *Глубинное строение территории СССР (набор карт)* // Б.В.Ермаков, Г.В.Краснопевцева, М.И.Разинкова и др. — М., 1989.
4. *Гравитационные аномалии Дальнего Востока* // Ю.Ф.Малышев, Л.М.Парфенов, Э.Л.Рейнлиб, Н.П.Романовский / Районирование геофизических полей и глубинное строение Дальнего Востока. — Владивосток, 1977. С. 18—29.
5. *Константинов М.М., Наталенко В.Е., Калинин А.И., Стружков С.Ф.* Золото-серебряное месторождение Дукаат / Под ред. М.З.Зиннатулина, Ю.В.Прусса. — М.: Недра, 1998.
6. *Карта аномалий модулей векторов горизонтальных градиентов силы тяжести и магнитного поля* / П.С.Ревякин, Е.П.Ширай. — М.: ЦНИГРИ, 1996.
7. *Карта осадочных и вулканогенных формаций территории СССР.* Масштаб 1:2 500 000. — Л.: ВСЕГЕИ, 1974.
8. *Киселев А.К., Огородников А.В.* Минерально-сырьевая база золота Чукотского автономного округа. Перспективы освоения и развития // Минер. ресурсы России. 2001. № 1. С. 21—28.
9. *Металлогеническая карта Магаданской области и сопредельных территорий.* Масштаб 1:1 500 000. — Севосткомнедра, 1994.
10. *Тектоническая природа геофизических полей Дальнего Востока* // Под ред. Ю.А.Косыгина. — М.: Наука, 1984.

УДК 528.88:553.411 (571.56)

© Л.И.Печниковская, 2004

Космоструктурные критерии контроля Нежданинского золоторудного месторождения (Южное Верхоянье)

Л.И.ПЕЧНИКОВСКАЯ

Новый этап развития прогнозно-металлогенических исследований — применение моделей, основанных на использовании космической информации — космоструктурных прогнозных моделей (КПМ). Технология предусматривает поэтапное дешифрирование материалов дистанционного зондирования с последовательным использованием всего комплекса данных, применяемых в современных металлогенических исследованиях. Специфика разработанной технологии — акцент на изучение структурного контроля оруденения по космическим изображениям земной поверхности для анализа закономерностей размещения известных рудных объектов и создания или совершенствования комплексной прогнозно-поисковой модели объекта.

Современная методика прогнозирования на основе МДЗ базируется на принципе поэтапного минерагенического анализа территорий разных уровней генерализации. Этот принцип с позиций системного подхода реализуется на основе системы прогнозно-поисковых моделей, составной частью которых являются КПМ. Задача работ на каждом УГ — изучение определенного минерагенического таксона, в результате чего в его пределах устанавливаются руд-

ные объекты следующего более детального уровня. Необходимо подчеркнуть системный характер разноуровневых исследований: минерагенический таксон составляет часть системы более высокого уровня, являясь в то же время системой, содержащей ряд элементов (минерагенических таксонов) следующего уровня организации рудного вещества. Как еще одно общее положение, обуславливающее необходимость многоуровневых исследований, надо подчеркнуть, что на каждом последующем более низком УГ уменьшается глубинность получаемой информации и увеличивается ее детальность. Информация более высоких УГ, кроме ее использования для решения задач соответствующего уровня, ограничивает произвольность проведения слабоконтрастных геологических границ и обеспечивает целенаправленный поиск по более детальному МДЗ сравнительно мелких объектов, которые могут прояснить геологический смысл крупных структур предшествующих уровню генерализации.

Оптимальный вариант минерагенических исследований — изучение региона на трех уровнях генерализации, причем наиболее детальный из них соответствует масштабу планируемых работ; как минимум, исследования должны

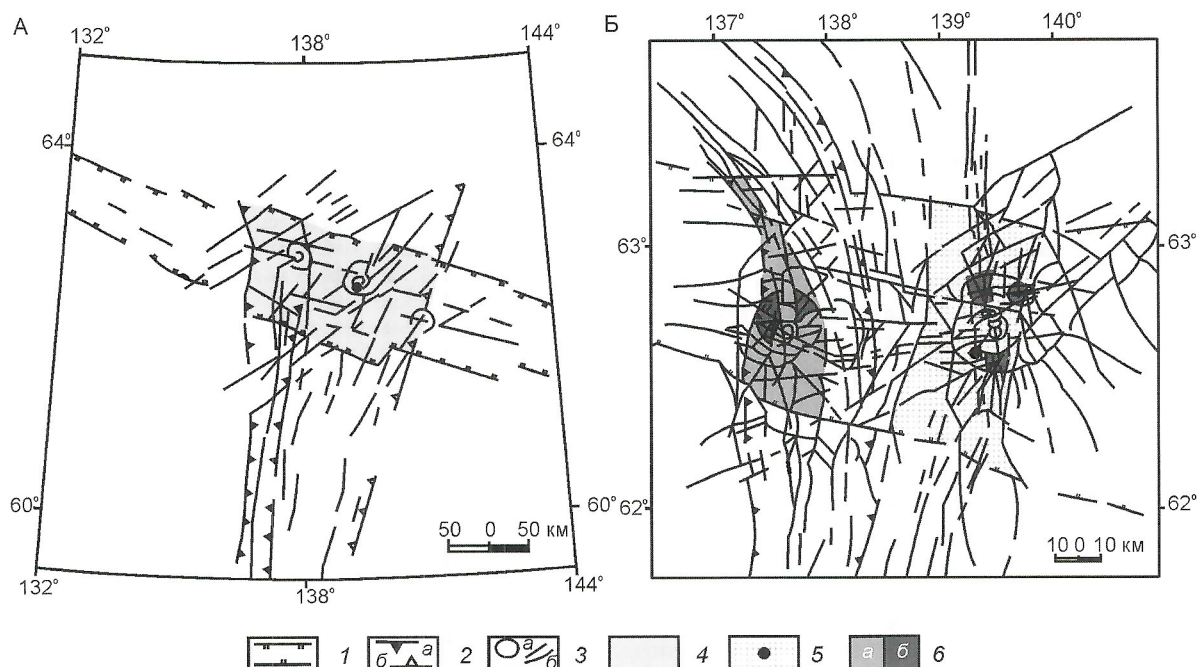


Рис. 1. Космоструктурные прогнозные модели Нежданинской золоторудной области:

уровень генерализации: А — континентальный, Б — региональный; границы: 1 — Среднеуральско-Шелеховского линеамента, 2 — Сетте-Дабанского рифта: *a* — поверхностная часть, *b* — погребенная часть; 3 — структуры: *a* — кольцевые, *b* — линейные; 4 — Нежданинская золоторудная область; 5 — золоторудный район и Нежданинское месторождение; 6 — прогнозируемые участки в ранге рудных: *a* — района, *b* — узлов

опираться на материалы предыдущего уровня. Масштабы материалов смежных УГ должны отличаться в 2,5—5 раз, так как при этом условии возникают качественные различия картографической информации, в т.ч. получаемой при дешифрировании снимков. Пропуск одного из уровней нецелесообразен, потому что МДЗ материалы с масштабным градиентом более 5 плохо сопоставимы, а при градиенте менее 2,5 информативность их качественно не меняется. Имеется в виду, что космические (или аэро) снимки сделаны в оптимальный для конкретных природных условий сезон и время суток аппаратурой с необходимыми техническими характеристиками.

Основными задачами работ по каждому УГ являются: 1) исследование рудных таксонов, выбранных как эталонные по минерогенетическим, геологическим, геофизическим, геохимическим и геоморфологическим данным на основе данных дешифрирования МДЗ, в т.ч. с учетом особенностей изображения таксонов на снимках; 2) разработка КГМ соответствующих рудных таксонов; 3) прогнозирование рудных объектов, подобных эталонным.

На этапе прогнозной оценки территорий при определении масштаба оруденения целесообразно применять метод глубинного линеamentного зондирования (ГЛЗ), основанный на специфическом анализе отдешифрированного линеamentного поля. Данный метод разработан в НИИКАМ [6]. Прогнозная роль его состоит в том, что в местах скопления крупных рудных масс (в пределах металлогенетических таксонов — рудных районов, узлов) определенные «поверхности раздела» земной коры имеют локальный подъем (выпуклость) на несколько километров. Такое явление фиксируется на профилях глубинного линеamentного зондирования.

Космоструктурные прогнозные модели континентального УГ Нежданинской золоторудной области. Для составления модели были использованы космические

снимки МСУ-М серии «Океан 01» с разрешением на местности 1 км в спектральных диапазонах (в нм) 500—600, 600—700, 810—1100, снятые в январе—марте 1978—1982 гг. и приведенные к картографической основе.

Рассматриваемая площадь Южного Верхоянья находится в пределах зоны пересечения субмеридиональных структур северной части Сетте-Дабанского палеорифта и Аллах-Юньской металлогенетической зоны с субширотными структурами, составляющими часть Среднеуральско-Шелиховского суперлинеамента [5]. Площадь (рис. 1, А) на континентальном УГ равна ~30 тыс.км², что отвечает металлогенетическому таксону в ранге рудной области [4], и называется она Нежданинская. Область представляет собой узел пересечения рифта и Среднеуральско-Шелиховского суперлинеамента.

Сетте-Дабанский рифт протянулся по юго-восточному краю Сибирской платформы. Возраст образования его на рубеже позднего силура—раннего девона [6]. В раннем девоне рифт был разделен глубинными разломами на 3 зоны (грабена) с запада на восток: Джалканская, Восточно-Хандыгская и Белореченская. Для каждой зоны характерен разрез девонско-каменноугольных вулканогенно-терригенно-карбонатных отложений.

Рифт имеет длину порядка 450 км и ширину до 60 км [6]. По данным дешифрирования КС континентального УГ палеорифт прослеживается в нескольких иных параметрах (см. рис. 1, А). Здесь четко видна его прямолинейная восточная граница (длина ~500 км), субпараллельная меридиональной ветви рифта и пересекающая Среднеуральско-Шелиховский линеament. Описанная часть рифта и восточная, выходящая за его пределы на ~60 км, установленная по МДЗ, перекрыты нижнепермскими и мезозойскими породами верхоянского комплекса. В пределах этой части рифта расположена основная часть Аллах-Юньской металлогенетической

зоны, включающей и Нежданинское месторождение [2]. Наличие такой границы и, следовательно, рифта шириной от 150 км на юге до 220 км на севере (погребенная плюс обнаженная части) подтверждается глубинным геологическим разрезом данной территории [1] и имеет важное металлогеническое значение.

Среднеуральско-Шелиховский линеамент, в целом ограничивающий продолжение рифта к северу, — наиболее крупный в Российской Федерации, локализованный в пределах 60° — 64° с.ш. и длиной 5400 км при ширине до 150 км [5]. Вдоль него размещено несколько суперкрупных месторождений эндогенного и экзогенного происхождения (в т.ч. Нежданинское), приуроченных к узлам пересечения этого линеамента с диагональными и меридиональными линеаментами.

В месте Т-образного пересечения разломов центральных частей Среднеуральско-Шелиховского линеамента и Сетте-Дабанского палеорифта находится кольцевая структура неправильной формы, имеющая в поперечнике около 50 км. К ее внешнему поясу и приурочено крупнейшее золоторудное Нежданинское месторождение [3]. Помимо субширотных и меридиональных разломов кольцевая структура контролируется и региональной зоной северо-восточных разломов, находясь, таким образом, в узле шестого порядка (порядок узла определяется числом разломов — лучей, выходящих из места их пересечения).

Следовательно, КППМ Нежданинской золоторудной области — узел пересечения трех линейных структур: 1) Среднеуральско-Шелиховского суперлинеамента; 2) Сетте-Дабанского палеорифта; 3) северо-восточной региональной зоны разломов.

Космоструктурные прогнозные модели регионального УГ Нежданинского золоторудного района. Модель составлена по результатам дешифрирования дистанционной основы, изготовленной по материалам космической фотосъемки камерой КАТЭ-200 в спектральных зонах (в нм) 510—600, 600—700, 700—850 и по их композиту.

Моделируемый объект находится в области пересечения северной части Сетте-Дабанского рифта и Среднеуральско-Шелиховского линеамента, в бассейне верхнего и среднего течения р.Тыра, притока р.Алдан. Как видно на ДО и схеме дешифрирования (см. рис. 1, Б) рудный район, включающий месторождение Нежданинское, может быть аппроксимирован с кольцевой структурой, во внешнем поясе которой и находится месторождение, что типично для крупных рудных объектов.

Анализ схемы космоструктурного дешифрирования (см. рис. 1, Б) позволяет выявить элементы КППМ рудного района, находящегося внутри кольцевой структуры. Положение кольцевой структуры определяется сложным узлом пересечения следующих зон разломов: 1) субмеридиональная — в восточной части рифта, ширина 25—30 км на юге площади и сужающаяся на севере до 5 км; 2) субширотная — длина 170—180 км и ширина 30—50 км, являющаяся деталью центральной части Среднеуральско-Шелиховского линеамента, шириной здесь ~100 км; 3) система диагональных зон разломов, главная из которых северо-восточная, продолжающаяся в пределы Сибирской платформы, общая длина ~800 км. Отдельные разломы этой системы в основном длиной первые десятки километров.

Прогнозная оценка площадей. В основу прогнозирования положен метод аналогии с учетом конкретной геологической обстановки. Рассмотренная модель крупней-

шего Нежданинского золоторудного района — типовая модель, сходная с КППМ подобных золоторудных объектов: Абитибии (Канада), Витватерсранд (ЮАР), Мурунтау (Узбекистан). Именно поэтому она может быть использована для прогнозной оценки площадей Нежданинской рудной области.

В пределах рассмотренной кольцевой структуры прогнозируются площади в ранге рудных узлов по аналогии Нежданинского узла, находящегося во внешнем поясе такой структуры (см. рис. 1, Б). Особый интерес в этом случае представляет мелкая кольцевая структура (10 км) в северо-восточной части внешнего пояса.

Кроме того, возможно прогнозирование нового рудного района. Так, в 60 км к западу от Нежданинской кольцевой структуры находится кольцевая структура (Сетте-Дабанская) несколько меньших размеров (около 40 км), но практически ей идентичная, хотя имеющая ряд особенностей (см. рис. 1, Б). В северной части ее внешнего пояса известны мелкие месторождения Pb, Zn, Sn полиметалльно-оловянной рудной формации гидротермально-метасоматического (жильного) происхождения [2]. Этот тип минерализации связан с зонами дробления и разрывных нарушений, контролируемых субмеридиональными зонами разломов. Здесь же известно золоторудное проявление. Благоприятные структурные признаки и минерализация этой части внешнего пояса кольцевой структуры позволяет прогнозировать ее в ранге рудного узла (см. рис. 1, Б).

Наиболее существенное различие рассматриваемых кольцевых структур — их расположение в разных геологических формациях. Например, Нежданинская находится на площади распространения нижнепермских и триасовых пород верхоянского терригенного комплекса, вмещающих несколько мелких массивов гранитоидов. Рудовмещающими являются субмеридиональные окварцованные и сульфидизированные зоны дробления осадочных пород мощностью 2—38 м, прослеживаемые на 6 км и глубину до 700 м [7].

Прогнозируемый рудный район с Сетте-Дабанской кольцевой структурой приурочен к девон-нижнекаменноугольному комплексу вулканогенно-терригенно-карбонатных пород, слагающих западную часть Сетте-Дабанского палеорифта. В пределах прогнозируемого района золоторудная минерализация не известна. Согласно Нежданинской КППМ, во внешнем поясе Сетте-Дабанской кольцевой структуры в северной и южной его частях прогнозируются золоторудные узлы (см. рис. 1, Б).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глубинные геологические разрезы севера Азии. Масштаб 1:1 000 000 / Под ред. И.В. Лучицкого. — Л., 1985.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист Р-54,55-Оймякон, О-55. Объяснительная записка. — С-Пб, 1999.
3. Карта полезных ископаемых России и сопредельных государств (в границах бывшего СССР). Масштаб 1:5 000 000. — С-Пб, 1992.
4. Металлогенические и тектоно-магматические исследования на основе материалов аэро- и космосъемок // А.В. Перцов, Г.В. Гальперов, В.С. Антипов и др. — Л.: Недра, 1988.
5. Перцов А.В., Гальперов Г.В., Антипов В.С., Турченко С.И. Линеаментная сеть, контролирующая размещение суперкрупных месторождений России // Докл. АН. Геология. 2002. Т. 383. № 1. С. 87—89.
6. Сагир А.В., Дорофеева Р.Н., Круковский П.Ю., Филатова Ю.Б. Структура, магматизм и металлогения Белореченской зоны Сетте-Дабанского палеорифта // Отечественная геология. 2001. № 1. С. 34—43.

Многочастотная радиолокационная съемка — новый эффективный метод исследования природных ресурсов

В.А.СТАРОСТИН, В.Л.ЩЕРБАКОВ

Современное состояние технических средств метода дистанционного зондирования в радиоволновом диапазоне. Радиолокационные системы бокового обзора (РЛСБО) в последние 25 лет широко применяются для решения различных задач, связанных с оперативным получением информации о земной поверхности. Число созданных в России и за ее пределами систем и разнообразие их технических характеристик достаточно большое и их возможности освещены в специальной литературе.

Характерные особенности РЛСБО — одноразовость обзора и приема большого числа импульсов, отраженных элементами земной поверхности при их облучении в радиодиапазоне волн. Время наблюдения элемента земной поверхности t при боковом обзоре определяется по формуле:

$$t = R_0 \beta / W,$$

где R_0 — наклонная дальность до элемента; β — ширина диаграммы направленности в горизонтальной плоскости; W — путевая скорость самолета.

Число импульсов отражения от элемента при частоте повторения зондирующих импульсов F_n , составит

$$n = F_n t \text{ или } n = R_n \beta F_n / W.$$

Из этого выражения следует, что число импульсов, отраженных от каждого элемента, возрастает с увеличением дальности. При реальных скоростях самолетов время облучения достигает нескольких секунд, а число отраженных импульсов — нескольких сотен. Например, при $R_n = 20 \times 10^3$ м, $\beta = 0,2$; $F_n = 2000$ Гц; $W = 200$ м/с; $t_n = 0,33$ с; $n = 670$ импульсов.

Возможность накопления большого числа отраженных импульсов позволяет повысить дальность наблюдений земной поверхности за счет уменьшения коэффициента различимости сигнала в шумах.

Зоны обзора РЛСБО представляют собой полосы, параллельные проекции вектора путевой скорости полета самолета на земную поверхность. Удаление ближайших границ полос обзора обычно равно высоте полета и определяется в основном допустимым ухудшением разрешающей способности по дальности непосредственно под самолетом, а также допустимой неравноконтрастностью радиолокационного изображения, возникающей в ближней зоне. Дальность действия определяется потенциалом РЛСБО. Такое построение изображения обеспечивает возможность получения пространственно неискаженного изображения, формируемого в прямоугольной системе координат X и Y , где X — направление линии пути, Y — наклонная или горизонтальная дальность.

В радиолокационных системах бокового обзора при жесткой связи антенной системы с фюзеляжем самолета колебания последнего непосредственно влияют на положение радиолуча в пространстве и при отсутствии стабилизации радиолуча или компенсации его колебаний могут привести к ухудшению радиолокационного изображения, его геометрических свойств. Для уменьшения плановых искажений необходима компенсация на снос самолета. Хорошая разрешаю-

щая способность РЛСБО, большое число отраженных сигналов и формирование изображения в прямоугольной системе координат обусловили создание индикаторных устройств с высоким разрешением, большим динамическим диапазоном и способностью накопления большого числа отраженных импульсов. Функциональная схема РЛСБО отличается от панорамных радиолокационных систем в основном построением антенных систем и индикаторных устройств. Для получения пространственно неискаженного и равноконтрастного изображения устройства стабилизации положения радиолуча в пространстве должны обеспечивать управление антеннами или развертками в системе индикации, чтобы компенсировать влияние колебаний самолета. Индикаторные устройства РЛСБО ввиду одноразовости обзора должны иметь большую память. Применяются три способа отображения информации: оперативная индикация для непосредственного наблюдения на борту самолета, система индикации изображения с фиксацией на фотопленку и на магнитную ленту в цифровом виде. Запись информации в том или ином виде обуславливает особенности дальнейшей обработки информации.

За рубежом созданы многочастотные радиолокационные системы, работающие в сантиметровом и дециметровом диапазонах радиоволн. Радиолокационная система JMFRAD работает на трех частотах с цифровой обработкой сигналов в реальном времени. В частности, она обеспечивает прохождение радиосигнала через лиственный покров и получение информации о скрытых под ним объектах.

Радиолокационная система ERJM представляет собой 2-частотную (3,2 и 23 см) 4-канальную систему. В каждом диапазоне два канала: синфазной и ортогональной поляризации. Разная поляризация радиоволн дает дополнительную информацию о земной поверхности в зависимости от характера ее шероховатости и диэлектрической проницаемости. Анализ изображений разной поляризации позволяет судить о влажности поверхности отражения, характере растительности, вещественном составе горных пород и почв.

Особый интерес для геологических и геоэкологических целей представляет возможность получения подповерхностной информации, обусловленной возрастанием проникающей способности радиоволн при увеличении их длины.

Использование радиолокационной системы в дециметровом диапазоне радиоволн (25 см) позволило американским исследователям оценить проникновение радиоволн в ледовом покрове до глубины 2,5 м.

Радиолокационные изображения пустыни Сахара, полученные космической радиолокационной системой SIR-A в 1981 г., показали, что радиосигналы длиной волн 23,5 см проникали через сухой песок до глубины 4,5 м. На изображении отчетливо просматривались особенности погребенного рельефа (впадины, русла рек, контуры озер) под песчаными отложениями значительной мощности.

В Российской Федерации МНИИП создан многочастотный радиолокационный авиационный комплекс «ИМАРК» (табл. 1).

1. Технические характеристики комплекса «ИМАРК»

Параметры	Длина волн, см			
	4	23	68	250
Полоса обзора, км	6 и 12			
Разрешающая способность, м	5—7	8—10	18—20	25—30
Мощность излучения, кВт	50,0	1,3	0,8	0,6 (5,0)
Вид излучаемого сигнала	Импульсный	ЛЧМ	ЛЧМ	Импульсный
Поляризация	ГГ, ВВ, ГВ, ВГ	ГГ, ВВ (ГВ,ВГ)		
Углы наблюдения от надира, град.	60—83	0—80		
Тип антенны	Волноводно-щелевая	Щелевая		
Коэффициент усиления, дБ	30	17	17	8 (13)
Ширина диаграммы направленности по уровню минус 3 дБ, град:				
по азимуту	1,7	24	24	55 (39)
по углу места	24	24	24	60
Масштаб изображения	1:200 000 (1:100 000)			
Динамический диапазон при обработке, дБ:				
оптической	25 (с каналом ослабления)			12
цифровой	32 (36)	36		
Число отсчетов	1024 (6400)	— (4570)	— (2000)	— (1330)
Скорость АЦП, МГц	30 (80)	— (57)	— (25)	— (16,7)
Разрядность:				
по входу	5 (6)	— (6)		
по выходу	8	— (8)		
Число независимых лучей (некогерентное накопление)	2 (7)	— (7)		
Скорость записи, Мбит/с	2,5 (5,0)	— (5,0)		
Время записи, ч	3			
Система отображения — черно-белый монитор	512×4 разр. (1024×8 разр.)	— (1024×8 разр.)		
Суммарная потребляемая мощность, кВА:				
по цепи 115 В 440 Гц	4			
по цепи +27 В	1,5			
Масса аппаратуры, кг	2600			
Высота съемки, м	500—3000			
Скорость полета, км/ч	600—700			
Время съемки, ч	до 3			

С 1989 г. на основе этой системы ВНИИКАМ активно проводились в различных районах СНГ опытно-методические работы по оценке ее возможностей при решении геологических задач. Результаты таких работ использованы при дальнейшем совершенствовании конструкторской разработки, в частности, расширении используемого диапазона и цифровой записи информации.

Технические характеристики и результаты съемочных работ комплекса «ИМАРК» демонстрировались на международных выставках во Франции, Италии, Англии. Способ применения многочастотной радиолокационной съемки для подповерхностного картирования запатентован В.А.Старостиным и Э.А.Востровым. Патент РФ №=2001420 от 15.10.93 г. (заявка от ВНИИКАМ).

В США в настоящее время также создана аналогичная радиолокационная система. Результаты практического применения ее пока не выходят за решение задачи — снятие растительного покрова (данные ИНТЕРНЕТ за 2001 г.).

Многочастотная радиолокационная система в Российской Федерации с самого начала использовалась при получении подповерхностной информации по площади исследуемых объектов. Подповерхностная геологическая информация непосредственно по площади пока не может быть получена традиционными геолого-геофизическими методами.

Получение информации в четырех диапазонах радиоволн (4, 23, 68 и 250 см), достаточно высокое разрешение на местности, конформная с фюзеляжем самолета установка антенн, стабильная работа системы положительно характеризует ее.

Выполнение летно-съемочных работ в различных ландшафтных и геологических условиях, детальное дешифрирование полученных материалов и заверочные работы по результатам интерпретации позволили оценить информацию, полученную в сантиметровом, дециметровом и метровом диапазонах радиоволн, впервые определить величину проникновения радиоволн метрового диапазона и наметить направления дальнейшего использования этой аппаратуры.

Преимущества многочастотной радиолокационной съемки по сравнению с другими методами заключаются в следующем:

1. Радиолокационная съемка — наиболее оперативный, практически независимый от погодных условий и времени суток метод получения информации, используемый для решения широкого круга задач: геологического картирования и поисков полезных ископаемых, гидрогеологических исследований и поисков месторождений пресных и минерализованных вод, инженерно-геологических, геоэкологических и др.

2. Многочастотная радиолокационная съемка (в сантиметровом, дециметровом и метровом диапазонах, с разной поляризацией радиоволн) позволяет одновременно получать на одну и ту же территорию информацию разных глубинных уровней: от уровня земной поверхности, растительного покрова (сантиметровый диапазон) до трех подповерхностных уровней, различающихся по характеру информации в зависимости от глубины проникновения и отражения радиоволн (два дециметровых диапазона и метровый диапазон).

Низкие углы визирования радиоволн при боковом обзоре позволяют фиксировать малейшие неровности облучаемой поверхности, что в интегрированном виде отражается на формировании плотностных характеристик радиолокационного изображения. Другой важный фактор, влияю-

щий на плотность тона изображения, — влажность, существенно изменяющая интенсивность отражения радиоволн. Поляризация радиоволн и деполяризация свойства поверхности отражения также влияют на характер радиолокационного изображения.

3. Большое преимущество имеет метод многочастотной радиолокационной съемки в районах с густым растительным покровом и покровом рыхлых отложений, затрудняющим получение геологической информации по материалам съемки в видимом диапазоне (рис. 1).

Геологическое и ландшафтное строение северо-запада Русской платформы определяет выбор и применение различных геолого-геофизических методов для изучения геологического строения и поисков полезных ископаемых, в частности, алмазоносных структур. Эта территория характеризуется залесенностью, заболоченностью, что ограничивает возможности традиционных геологических методов. Многочастотная радиолокационная съемка учитывает как ландшафтные, так и геофизические особенности территории и по- этому является уникальным методом.

4. В методическом отношении полезна информация, которая получается на основе совместного сравнительного анализа данных разных частотных диапазонов. Такая информация носит во многом уникальный характер, так как взаимодействие радиоволн разного диапазона (проникновение, поглощение, рассеяние и отражение) с земной поверхностью, растительным покровом и подповерхностными объектами различны для каждого диапазона.

Совместный анализ изображений разных диапазонов цифровой записи в комплексе с геологическими данными и данными об электрофизических свойствах пород позволяет использовать компьютерную технологию для решения конкретных практических задач геологического картографирования, прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых.

Электрофизические характеристики грунтов. Электрические свойства грунта характеризуются диэлектрической проницаемостью, удельным сопротивлением или проводимостью и диэлектрическими потерями. Электрические свойства различных грунтов изучены еще недостаточно полно. В отдельных исследованиях затрагиваются различные аспекты, например, влияние на диэлектрическую проницаемость минерального состава, влажности, температуры, частоты электрического поля и т.д. Эти вопросы требуют глубокого и всестороннего изучения, но для практических целей (когда не требуется производить сверхточные измерения) обычно достаточно иметь результаты измерений электрических характеристик различных типов пород в виде справочной табл. 2 [2].

Общими для большинства пород являются следующие зависимости: 1) с повышением плотности вещества диэлектрическая проницаемость увеличивается; 2) диэлектрическая проницаемость уменьшается с увеличением твердости; 3) так как диэлектрическая проницаемость воды $\epsilon^1 \approx 80$, то большое значение имеет влажность породы (наличие влаги приводит к существенному увеличению ϵ^1); 4) если грунт насыщен нефтью, диэлектрическая проницаемость которой $\epsilon^1 \approx 2,5$, то диэлектрическая проницаемость породы уменьшается; 5) для пород, содержащих глинистый материал, диэлектрическая проницаемость существенно зависит от процентного содержания глины; 6) диэлектрическая проницаемость уменьшается с ростом температуры.

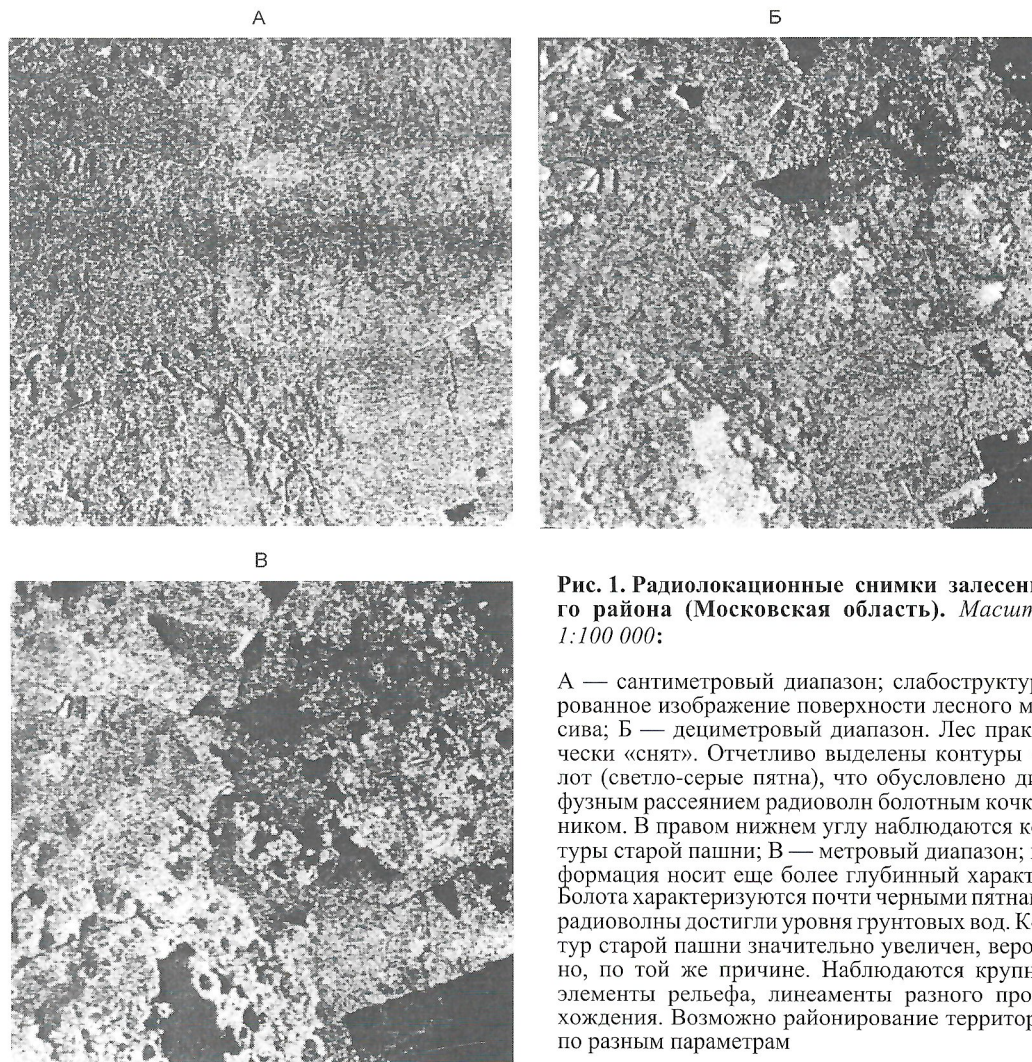


Рис. 1. Радиолокационные снимки залесенного района (Московская область). Масштаб 1:100 000:

А — сантиметровый диапазон; слабоструктурированное изображение поверхности лесного массива; Б — дециметровый диапазон. Лес практически «снят». Отчетливо выделены контуры болот (светло-серые пятна), что обусловлено диффузным рассеянием радиоволн болотным кочкарником. В правом нижнем углу наблюдаются контуры старой пашни; В — метровый диапазон; информация носит еще более глубокий характер. Болота характеризуются почти черными пятнами, радиоволны достигли уровня грунтовых вод. Контур старой пашни значительно увеличен, вероятно, по той же причине. Наблюдаются крупные элементы рельефа, линейные элементы разного происхождения. Возможно районирование территории по разным параметрам

Рассматривая вопрос электропроводности, необходимо отметить, что в различных породах возможны как электрическая, так и ионная проводимость. Электропроводность, как и диэлектрическая проницаемость, зависит от многих факторов. У большинства минералов проводимость со-

ставляет 10^{-9} см/м и менее. При наличии в грунте хорошо проводящих материалов электропроводность породы увеличивается. Кроме того, большую роль играет проводимость воды в порах породы. Такая проводимость сильно зависит от концентрации солей. При росте минерализации

2. Зависимость глубины проникновения радиоволн от типа горных пород и их электрофизических свойств

Тип пород (влажность)	Диэлектрическая проницаемость ϵ^1	Удельное затухание радиоволн Γ , дБ/м	Электро- провод- ность σ , см/м	Скорость распро- странения радиоволн V_{ϕ} , м/с	Расстояние, пройденное зондирую- щим сигна- лом за 1 нс S , м	Разреша- ющая спо- собность по глуби- не Δh , м	Максималь- ная глубина зондирова- ния $\Delta h_{\max}$, м	Время распро- странения сигнала до нижней границы слоя и обратно Δt , нс
Глина (4%)	5,4	12,3	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$1,23 \cdot 10^8$	0,123	0,496	3,1	50
Глина (16%)	18,6	53	0,169	$5,76 \cdot 10^7$	0,057	0,23	0,83	28,8
Суглинок (5%)	4,8	9,9	0,013	$1,32 \cdot 10^8$	0,133	0,53	3,8	57
Песок (0%)	4,0	0,3	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^8$	0,15	0,6	80	1066
Песок (4%)	4,9	1,8	0,0024	$1,35 \cdot 10^8$	0,135	0,54	20,1	297
Известняк	8	0,51	$8,8 \cdot 10^{-4}$	$1,06 \cdot 10^8$	0,106	0,42	51	962
Доломит	6,7	0,6	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$1,16 \cdot 10^8$	0,116	0,46	45	776
Вода пресная	84	2,0	$1,11 \cdot 10^2$	$3,3 \cdot 10^7$	0,033	0,13	16	977

воды от 0,1 до 10 г/л проводимость увеличивается от 10^{-2} до 1 см/м.

Осадочные породы, как правило, обладают достаточно высокой проводимостью (исключение составляют известняки, у которых $\sigma = 10^{-5} + 10^{-2}$ см/м, и каменная соль, $\sigma \approx 10^{-3}$ см/м).

В рыхлых породах чем больше размеры частиц, тем меньше их проводимость. Так, переход от глин и суглинков к супесям и пескам приводит к изменению проводимости от единиц до сотых долей сантиметра на метр.

Опыт применения многочастотной радиолокационной съемки в природоресурсных исследованиях. *Подповерхностное геологическое картирование и поиски полезных ископаемых.* Характер информации, получаемой по материалам многочастотной радиолокационной съемки в разных диапазонах, методические особенности интерпретации получаемых материалов позволяют определить ряд геологических задач, решение которых оптимально на основе использования этого метода [3].

Сантиметровый диапазон (4 см). На материалах радиолокационной съемки в сантиметровом диапазоне хорошо отображаются такие особенности земной поверхности, как рельеф, почвенно-растительный покров, изменение влажности. Использование материалов радиолокационной съемки в сантиметровом диапазоне дает возможность картировать в основном на поверхности различные по вещественному составу горные породы, складчатые и разрывные нарушения, кольцевые структуры различного генезиса и другие элементы геологического строения, анализ которых совместно с геолого-геофизическими и геохимическими данными определяет направление поисков полезных ископаемых.

В сантиметровом диапазоне фиксируются зоны повышенного увлажнения и обводнения, отображенные на земной поверхности, а также площади развития многолетней мерзлоты.

Важное значение получаемые материалы имеют для решения экологических задач, в частности, оперативного выявления нефтяных и других загрязнений водной поверхности и суши.

Дециметровый диапазон (23 и 68 см). При радиолокационной съемке в дециметровом диапазоне вследствие проникновения радиоволн до глубины нескольких метров увеличивается возможность подповерхностного площадного исследования горных пород и их свойств (плотность, пористость, влагопроницаемость, влажность и связанная с ней электропроводность) и, как следствие, решение более широкого круга задач геологического картирования и поисков полезных ископаемых, гидрогеологических и инженерно-геологических задач.

Это касается, прежде всего, картирования погребенных долин и поисков россыпных месторождений, выявления и картирования карстовых пустот, определения уровня грунтовых вод, площадей аккумуляции и их разгрузки, инженерно-геологического обоснования под строительство различных инженерных сооружений (газо- и нефтепроводов, дорог, плотин, гражданских и промышленных объектов различного назначения и др.).

Метровый диапазон (250 см). При увеличении длины радиоволн в метровом диапазоне возрастает их проникающая способность (до десятков метров). Глубина проникновения определяется составом пород, глубиной залегания верхнего горизонта, способного поглотить или отразить радиосигналы. Ими могут являться: линзы грунтовых вод,

обводненные разломы, крупные электропроводящие рудные тела, участки многолетней мерзлоты, таликовые зоны.

Материалы радиолокационной съемки в этом диапазоне несут важную информацию о глубинном строении, особенно в районах, закрытых рыхлыми отложениями, и позволяют решать поисковые задачи (поиски крупных рудных тел, кимберлитовых трубок, линз и горизонтов пресных и минерализованных вод и др.).

Существенно возрастает в этом диапазоне информация с целью решения гидрогеологических и инженерно-геологических, геоэкологических задач, в частности, выявления режима и динамики подземных вод и связанного с ними распространения загрязнений.

Поиски структур, связанных с кимберлитовым магматизмом. Материалы многочастотной радиолокационной съемки представляют существенный интерес для структурной локализации поисков полезных ископаемых, в частности, кимберлитовых структур, в т.ч. перекрытых рыхлыми отложениями мощностью несколько десятков метров и не выраженных на земной поверхности и изображенных сантиметрового диапазона.

В метровом диапазоне радиоволн подповерхностное изображение кимберлитовых структур связано с их тектонической активизацией по разломам в период образования покровных отложений, которое привело к созданию зон повышенной трещиноватости и влагопроницаемости в отложениях, перекрывающих кимберлитовые трубки. Это повлияло через особенности гидрогеологического и гидрогазогеохимического режима как на элементы ландшафта земной поверхности, так и подповерхностные изменения горных пород. Проникновение радиоволн в метровом диапазоне до определенной глубины, обусловленное физическими свойствами пород, уровнем грунтовых вод, позволяет выявить локальные участки, соответствующие приведенным критериям, указывающим на связь подповерхностных структур с поверхностными формами рельефа (рис. 2).

Получение подповерхностной структурно-тектонической информации на определенной площади дает возможность непосредственно наблюдать и выявлять границы кимберлитовых структур, их взаимоотношения с вмещающими породами и соседними тектоническими блоками. Такая информация используется при построении региональной структурно-тектонической основы с выделением локальных структур, связанных с кимберлитовым магматизмом.

В Зимнебережном районе Архангельской области проведены заверочные работы по результатам многочастотной радиолокационной съемки на участке трубки «Пионерская». В результате получена важная информация о подповерхностном геологическом строении этой кимберлитовой структуры, а также выделены новые структуры, перспективные на алмазоносность.

Совместный анализ материалов многочастотной радиолокационной съемки, наземного радиолокационного зондирования, геолого-геофизических данных представляет собой эффективную методику обнаружения и исследования структурных аномалий трубочного типа в условиях залесенной, заболоченной и закрытой территории северо-запада Русской платформы.

Исходя из опыта работ на территории Архангельской области, многочастотная радиолокационная съемка должна занимать в технологии исследований перспективных на алмазоносность площадей важное место в комплексе методов дистанционного зондирования, как опережающий

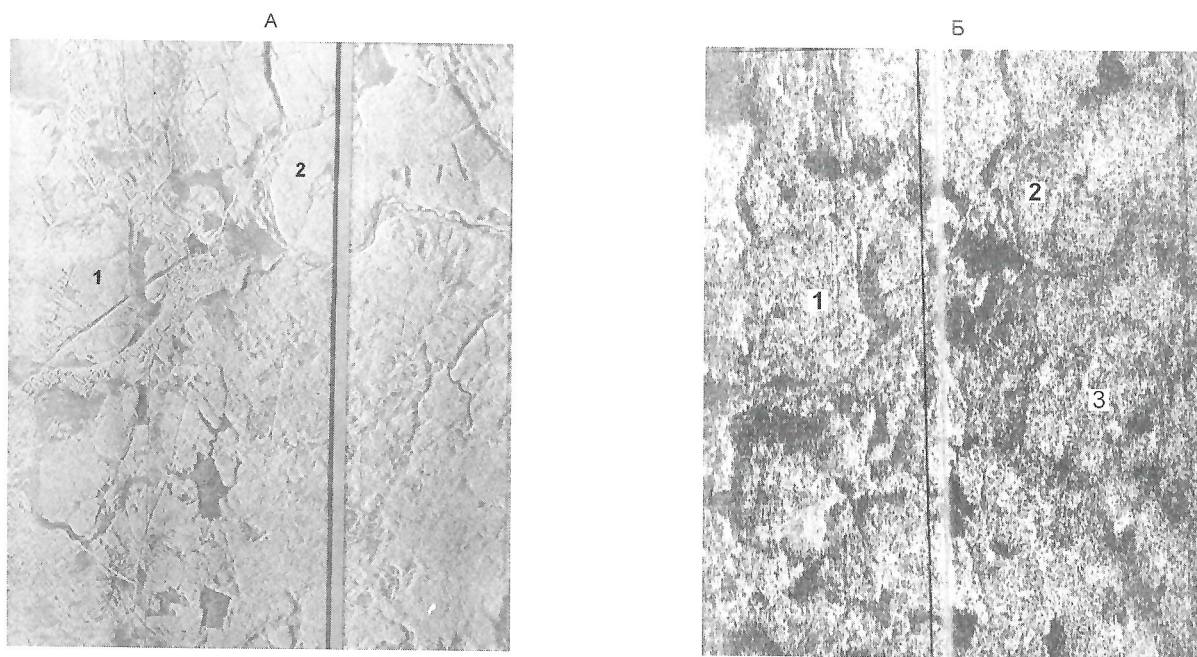


Рис. 2. Радиолокационные снимки кольцевых структур, соответствующих кимберлитовым трубкам (северо-запад Русской платформы). Масштаб 1:100 000:

А — сантиметровый диапазон; видны кольцевые структуры (1, 2), соответствующие разбуренным кимберлитовым трубкам; Б — метровый диапазон; видны три кольцевые структуры (1, 2, 3), третья не исследована. Мощность отложений покрова 50—70 м

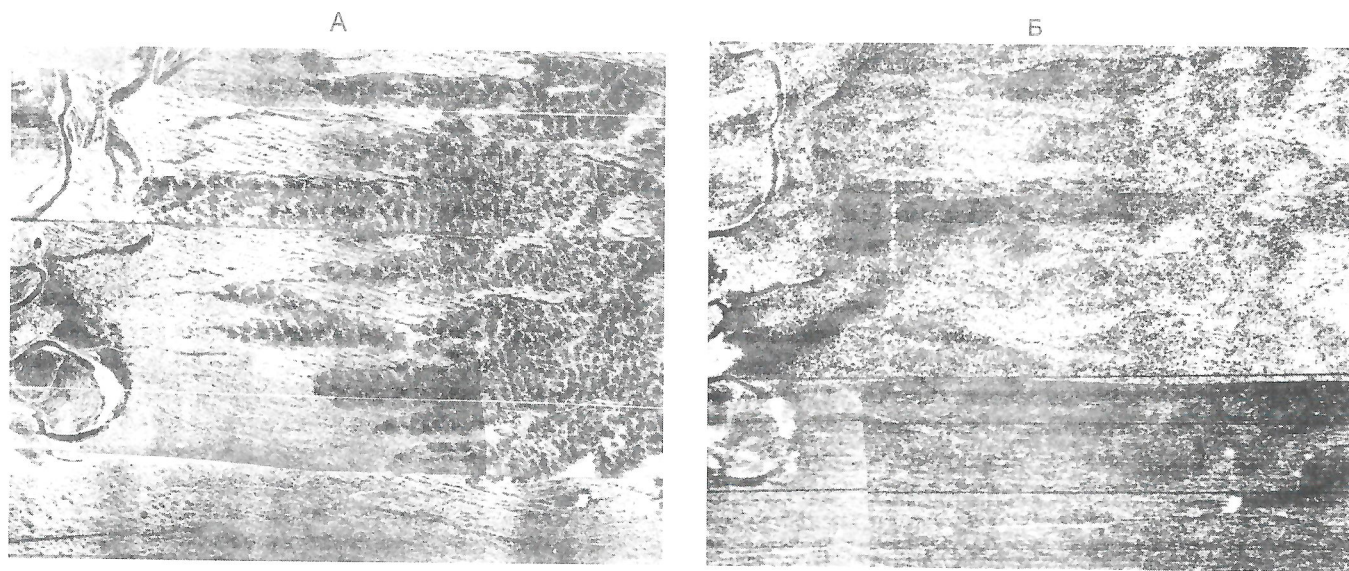


Рис. 3. Радиолокационные снимки (Туркмения, Ясханское месторождение пресных вод). Масштаб 1:100 000:

А — сантиметровый диапазон, изображены песчаные гряды, в межгрядовых понижениях суглинки, русло р. Узбой; Б — метровый диапазон, песчаные барханы практически «сняты». Четко выделяются разломы, по которым происходит разгрузка водоносного горизонта, залегающего на глубине 50—70 м. Участки повышенного увлажнения характеризуются темным тоном

метод обеспечения региональных исследований, по результатам которого будут корректироваться дальнейшие поисковые работы на участках лицензирования.

Поиски и картирование источников водоснабжения. Эта задача положительно решалась и при использовании материалов радиолокационной съемки, полученных только в одном — сантиметровом диапазоне. Информация в данном случае связана только с особенностями поверхности горных пород и почвенно-растительного покрова. На радиолокационном изображении отчетливо наблюдаются источники подземных вод, выходящие на поверхность,

прослеживается их тесная связь, структурный контроль со стороны разрывных тектонических нарушений, представляющих зоны ослабленной механической прочности горных пород вследствие интенсивной трещиноватости, влагопроницаемости и повышенной влагоемкости.

Материалы многочастотной радиолокационной съемки, давая подповерхностную информацию, существенно расширяют представления о характере залегания водоносных пород, в частности, о кровле водоносного горизонта и его связи со структурными элементами тектонического строения района исследований.

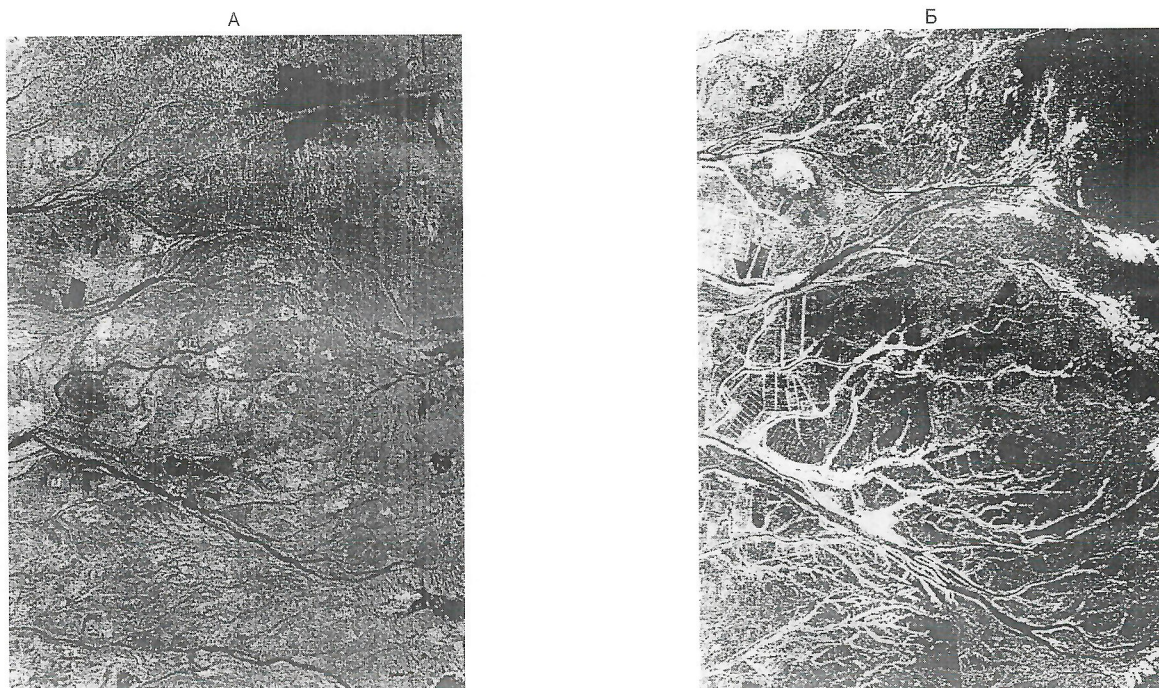


Рис. 4. Радиолокационные снимки дельты р.Волга. Масштаб 1:100 000:

А — сантиметровый диапазон; отчетливо дешифрируются гидросеть и участки темного тона, соответствующие наступлению вод Каспийского моря; Б — метровый диапазон; наблюдается обширная площадь темного тона, соответствующая зоне подповерхностного подтопления

В качестве примера использования многочастотной радиолокационной съемки для решения геологических задач, направленных на поиски и картирование источников водоснабжения, приведены материалы и результаты дешифрирования в пределах одного из районов Туркмении (рис. 3).

На изображении метрового диапазона (см. рис. 3, Б) площадь контуров увлажненных участков существенно увеличивается, отчетливо наблюдается структурная приуроченность их к разрывным нарушениям юго-западного направления, которые не фиксировались на изображении в сантиметровом диапазоне. В результате геологического дешифрирования составлена геолого-тектоническая схема (с элементами геоморфологии и гидрогеологии), которая несет существенно новую структурно-тектоническую информацию об этом районе, указывающую на структурный контроль за его гидрогеологическими особенностями.

Особо следует отметить приуроченность к разрывным нарушениям зон повышенного увлажнения и обводнения, имеющих важное значение для водоснабжения населенных пунктов и предприятий в этом аридном районе. По данным бурения здесь глубина залегания грунтовых вод 30—50 м, что указывает на определенную глубину проникновения радиоволн в конкретных геолого-географических условиях и возможность подповерхностного картирования горизонтов грунтовых вод на такой глубине.

Выявление и картирование карста. На материалах радиолокационной съемки сантиметрового диапазона хорошо выделяются карстовые трещины, воронки, промоины в районах развития карбонатных и глинистых пород (глинистый карст).

Материалы многочастотной радиолокационной съемки, фиксируя в сантиметровом диапазоне карстовые трещины, промоины на поверхности, в метровом диапазоне дают иное изображение этих элементов карста. Вследствие проникновения радиоволн на определенную глубину трещины и про-

моины становятся более контрастными на изображении метрового диапазона, контуры их изменяются, становятся более широкими, приобретают новые элементы, не фиксирующиеся на изображении сантиметрового диапазона.

Исследование подповерхностной динамики подземных вод и связанных с ней экологических изменений. Выявление и прогнозирование зон подтопления и затопления.

Периодические отступления и наступления акваторий на сушу обуславливают серьезные экологические изменения и существенно влияют на экологические возможности прибрежной зоны. Классическим примером этого являются отступления и наступления Каспийского и Аральского внутренних морей, связанные с неотектоническими и климатическими факторами.

В Каспийском море до недавнего времени резко понижался уровень, что привело к большим изменениям очертаний береговой линии и экологии района. В настоящее время море резко повышает свой уровень и наступает на прибрежные районы, что особенно ощущается в северной части бассейна. Если затопление непосредственно наблюдается, то подтопление непосредственно не выражено на поверхности, хотя повышение уровня грунтовых вод скажется, прежде всего на почвенно-растительном покрове, урожайности сельскохозяйственных культур. В промышленных и населенных пунктах вода активно влияет на состояние подземных коммуникаций, приводя их в негодность за короткий срок.

В связи с этим по материалам многочастотной радиолокационной съемки задача выявления и подповерхностного картирования зон подтопления может решаться весьма эффективно (рис. 4).

На радиолокационном изображении сантиметрового диапазона прибрежной зоны отчетливо наблюдается гидросеть и темным тоном изображаются контуры повышенной влажности на поверхности. В метровом диапазоне

контуры темного тона значительно увеличиваются по площади вследствие подповерхностного подтопления и на радиолокационном изображении в его южной части дешифрируются темной полосой, захватывая и контуры, наблюдавшиеся на изображении сантиметрового диапазона. Дугообразные элементы гидросети указывают, что подтопление и затопление происходят на фоне локального неотектонического поднятия, которое в результате дальнейшего наступления моря может оказаться островом.

Анализируя контуры подповерхностного подтопления и контуры повышенной влажности на поверхности, увязывая их с данными геолого-геоморфологического строения, можно прогнозировать направление и масштаб экологических изменений на исследуемой территории.

Исследование загрязнений водной среды. На радиолокационных изображениях водной поверхности различные загрязнения, прежде всего нефтяные, фиксируются достаточно отчетливо. Исследования подповерхностных загрязнений по материалам дистанционных методов практически не проводились. С созданием многочастотных радиолокационных систем эта задача может быть практически решена. Исследование и картирование подповерхностной динамики подземных изменений уровня, площади, направления движения подземных вод, с учетом данных об источнике и типе загрязнения, позволяет делать выводы о характере распространения загрязнения от его источника.

Картирование залесенных территорий, выявление объектов под растительным покровом. Многочастотная радиолокационная съемка весьма эффективна при геолого-геоморфологическом картировании участков земной поверхности, покрытых лесом. Использование дециметрового и метрового диапазонов радиоволн практически снимает изображение лесного покрова, и на радиолокационных изображениях отчетливо прослеживаются и картируются различные типы рельефа и элементы геологического строения.

Демаскирующие свойства дециметрового и метрового диапазонов радиоволн ориентируют на использование многочастотной радиолокационной съемки для обнаружения различных инженерных объектов, строений, скопления техники, экологических нарушений, скрытых под покровом леса (см. рис. 1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старостин В.А., Комаров В.Б. Место и значение радиолокационной съемки в комплексе дистанционных методов, применяемых в СССР для изучения окружающей среды / Экспресс информация ВИНТИ. Сер. VII. № 2. 1976.
2. Пархоменко Э.И. Электрические свойства горных пород. — М.: Наука, 1965.
3. Аэрокосмические методы геологических исследований / Под ред. А.В.Перцова. — С-Пб., 2000.

УДК 528.87:63

© Т.А.Попова, М.А.Шубина, 2004

Особенности изучения ландшафтов по радиолокационным снимкам

Т.А.ПОПОВА, М.А.ШУБИНА

В 70—90-е годы прошлого столетия активный метод дистанционного зондирования — радиолокационная съемка системами бокового обзора широко применялась исследователями при решении ряда задач по изучению природных ресурсов и выполнялась на обширных площадях. Изменение экономической ситуации в стране привело к сокращению, а во многих областях и к ликвидации радиолокационной съемки (РЛС). Это существенная потеря для прикладной науки, так как РЛС позволяет получить отличную от других датчиков информацию, особенно для северных районов, где облачность препятствует получению качественной информации в видимом диапазоне.

Одно из направлений успешного использования РЛС — ландшафтные исследования: ландшафтное районирование, изучение морфологической структуры ландшафтов, выявление взаимосвязи между ландшафтами, их структурными компонентами и элементами.

Радиолокационное изображение фиксирует отражение электромагнитного излучения определенной частоты от земной поверхности, характеризующейся определенной электропроводимостью, и шероховатостью — относительными превышениями природных объектов [5, 6].

Основные дешифровочные признаки радиолокационных изображений — тон, текстура, «скульптурность». Изменение сезонов года вызывает существенные изменения в характере изображения одних и тех же объектов.

В таежной зоне разнообразные формы рельефа (холмы, гряды, озы, камы и др.) и лесные массивы обуславливают скульптурность изображений. Особенно хорошо отображаются вытянутые гряды при облучении перпендикулярно направлению простирания (рис. 1, А); четко вырисовываются массивы леса, особенно на границах с вырубками и болотами (см. рис. 1, Б). Безошибочно дешифрируются даже группы деревьев, оставленные на вырубках в качестве семенников (см. рис. 1, В). По тону и текстуре определяются болота, озера, некоторые типы растительности (рис. 2).

Характер увлажнения поверхности в вегетационный период и изменение состояния снежного покрова в зимнее время приводит к изменению тональности изображений по сезонам. Набор разносезонных снимков позволяет получить некоторые сведения о гидрологическом режиме болот (рис. 3). На позднеосеннем (см. рис. 3, А) и ранневесеннем снимках по очень темному тону очерчивается вся площадь болота; на поздневесеннем (см. рис. 3, Б) очень светлым тоном проявляется линия стока болотных вод; на летнем (см. рис. 3, В) серым тоном выделяется центральная часть болота со сфагновым ковром и краевая, темно-серая часть с травянисто-сфагновым покровом.

Используя возможности дешифрирования форм рельефа, гидрографической сети, болотных комплексов и лесных массивов, можно дешифровать ландшафты. В соот-

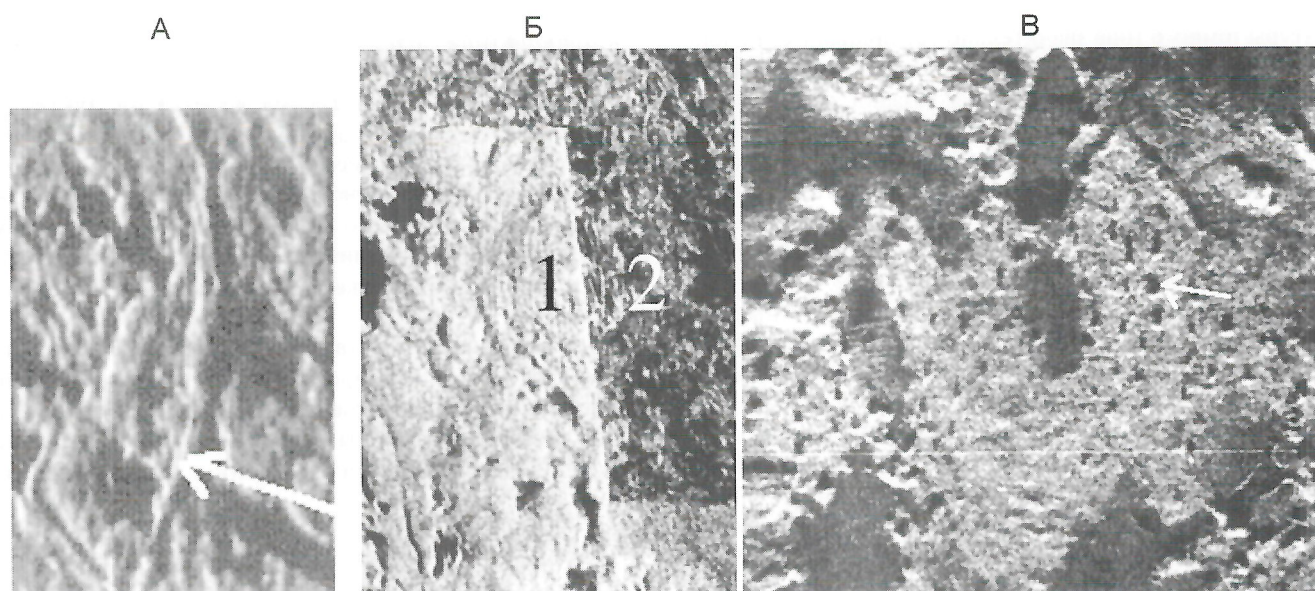


Рис. 1. Примеры радиолокационных изображений характерных элементов ландшафта:

А — стрелка — оз; Б — лесной массив на границе с вырубкой: 1 — лес, 2 — вырубка; В — группы семенников леса на вырубке, стрелка — группы деревьев

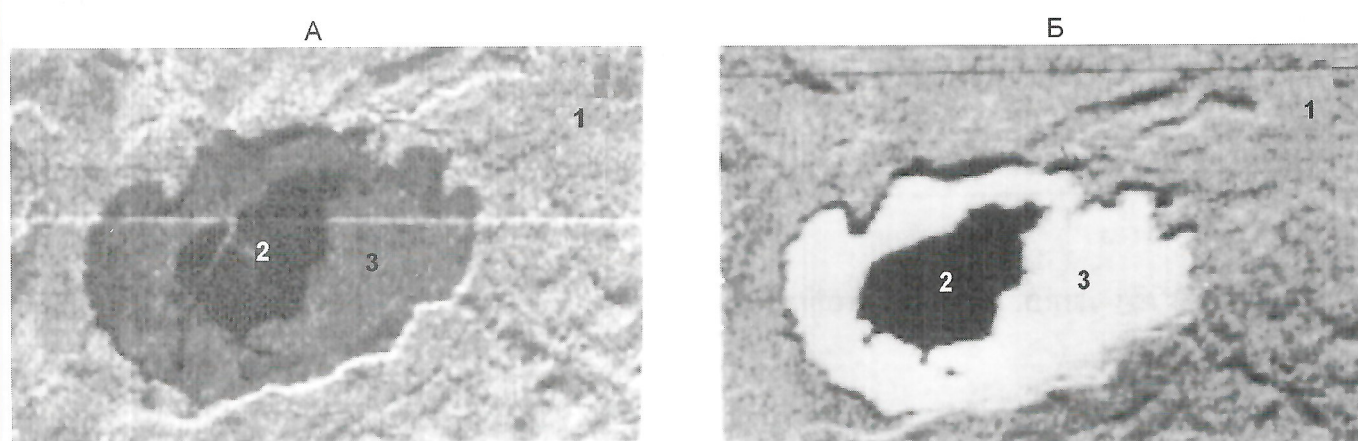


Рис. 2. Озеро, зарастающее тростником:

А — ранняя весна, Б — конец лета: 1 — лес, 2 — водное пространство, 3 — тростник

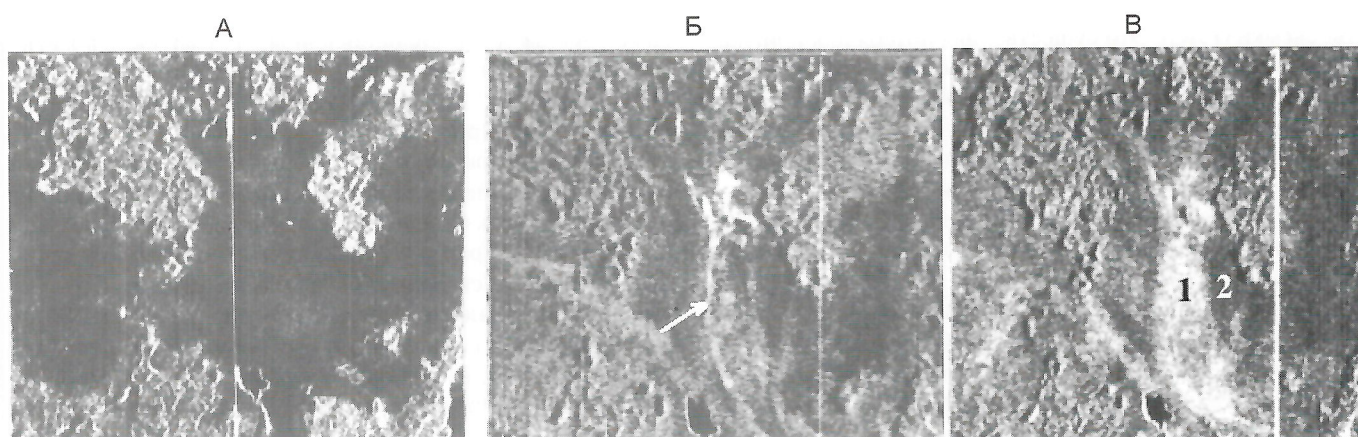


Рис. 3. Разносезонные радиолокационные изображения болотного массива:

А — позднеосеннее (12 октября); Б — весеннее (12 мая), стрелка — линия стока вод; В — летнее (22 июля); сообщество: 1 — сфагновое, 2 — осоково-сфагновое

ветствии с определением Н.А.Солнцева ландшафт мы понимаем как основную единицу природно-территориальных комплексов. Ландшафт приурочен к единому геологическому фундаменту, генетически однороден, характеризуется определенным набором форм рельефа, внутренней морфологической структурой и своеобразными физиономическими чертами [1]. Естественно, что в подобных условиях развивается и определенный набор растительных ассоциаций и типов почв.

На рис. 4 приведено изображение с 2 ландшафтами, где озерная равнина с поясной морфоструктурой характеризуется наличием береговых валов с древесной растительностью и межваловыми понижениями с болотами. В пределах озерной равнины выделяются две генерации береговых валов. Ландшафт озерно-ледниковой равнины (см. рис. 4) с пятнистой морфоструктурой характеризуется холмистым рельефом, обширными болотными массивами и хвойными лесами на повышенных участках. Территорию, представленную на рисунке, А.Г.Исаченко с соавторами рассматривает как единый Нижнесвирский ландшафт [4]. Нам представляется более правильным выделять два самостоятельных ландшафта, так как они отличаются по генезису и им соответствует совершенно различная морфоструктура.

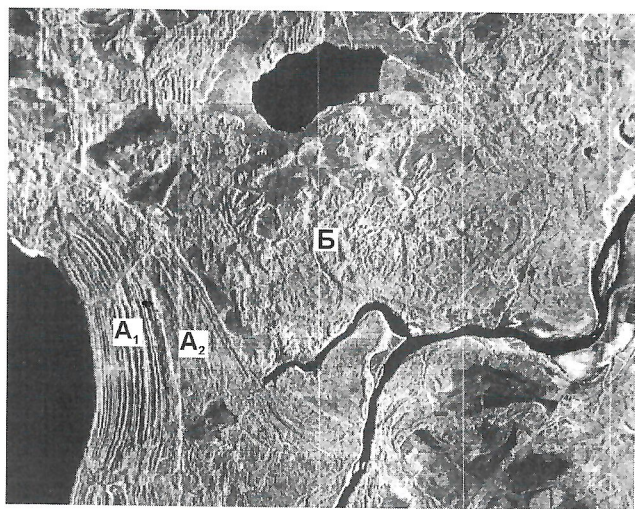


Рис. 4. Фрагмент радиолокационного изображения Нижнесвирского заповедника:

А — ландшафт озерной равнины; береговые валы генерации: А₁ — поздней, А₂ — более ранней; Б — ландшафт озерно-ледниковой равнины

По РЛС сантиметрового диапазона можно провести ландшафтное районирование. Авторами было выполнено районирование участка Онежско-Беломорского водораздела. Район расположен в пределах таежной зоны и с небольшими колебаниями абсолютных высот, преобладанием ледниковых форм рельефа, широким развитием чехла четвертичных и современных болотных отложений. Ландшафтообразующими элементами являются как леса, так и болота.

Для исследуемой территории характерны несколько типов рельефа.

Денудационно-тектонический тип представлен грядовыми и грядово-холмистыми формами. Для крупногрядового рельефа в пределах Ветреного пояса типична скульптурность и он легко дешифрируется. Мелкие гряды более четко проявляются при съемке с малых высот.

Ледниковый тип — моренная волнистая равнина с плавными очерченными формами и незначительными превышениями. Дешифрирование облегчается за счет того, что к понижениям равнины приурочены болотные массивы.

Водно-ледниковый аккумулятивный тип представлен озами, камами, нерасчлененным комплексом холмисто-грядового рельефа и волнистых равнин. Озам присуща своеобразная извилистая форма, большая протяженность при высоте от 5 до 30 м и ширине по гребню 5—20 м. Большинство озов ориентированы с юго-востока на северо-запад. На РЛС озы имеют вид извилистых полос с резко контрастирующими по тону сторонами (обращенная к излучению — светлая, противоположная — темная). По гребням озов часто прокладываются дороги, которые на снимке отображаются светлыми полосами, повторяющими направление озов. Камы — невысокие холмы в плане почти изометрической формы, которая подчеркивается контрастом облученного и теневого склонов. Группы камов залесенных участков выделяются по «курчавому» рисунку.

Современные аккумулятивные озерные образования — береговые валы, песчаные пляжи занимают очень небольшие площади и не изображаются в масштабах съемки.

Биогенные формы рельефа связаны с образованием торфяников в замкнутых и проточных котловинах и на пологих склонах. Они дешифрируются по своеобразной морфоструктуре, типам комплексности и увлажнению.

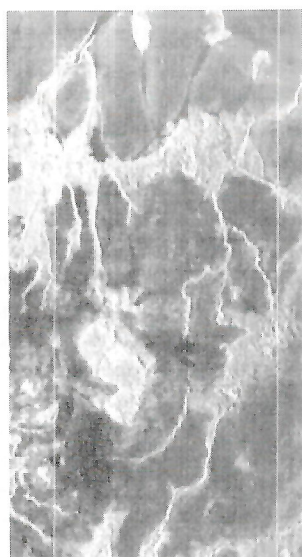
Дополнительную информацию о характере рельефа и ландшафта дает гидрографическая сеть, которая представлена в районе многочисленными озерами, реками и ручьями.

Леса на участке сосновые, елово-сосновые и производные березовые. По берегам рек встречаются небольшие массивы ельников.

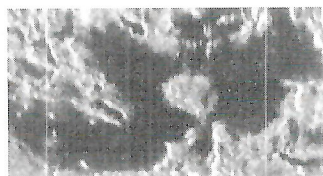
Лесные массивы выделяются как объемные контуры с закономерным внутренним рисунком светотеней, размеры и густота которых определяются структурой древесного полога. Более четко дешифрируются густые хвойные леса, тогда как березняки отличаются большей изменчивостью тона.

Используя перечисленные особенности изображения, было проведено ландшафтное районирование. Площадная РЛС выполнена в марте, когда вся территория была покрыта снегом. Однако перед съемкой наблюдались оттепели, снег на болотах и озерах начал подтаивать и пропитался водой, что и обеспечило дифференциацию радиолокационного изображения. Кроме того, отдельные участки покрывались съемкой многократно в разные сезоны. Аэровизуальные наблюдения проводились повторно и подкреплялись выборочными наземными наблюдениями. Естественно, что достоверность выделенных районов неоднозначна. Наличие разноаспектной съемки могло обеспечить большую уверенность в границах районов. Всего на территории исследования выделено 18 районов (рис. 5, см. вставку в середине журнала). На рис. 6 приведены фрагменты РЛС-изображений отдельных ландшафтных районов.

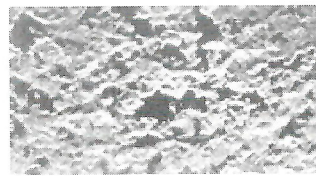
I. *Прибеломорский* приурочен к приморской слабо наклонной низменности, образовавшейся в период послеледниковых морских трансгрессий. Кристаллические породы архейского возраста перекрыты плащеобразно залегающими послеледниковыми морскими и торфяно-болотными четвертичными отложениями. Равнинность территории нарушается выходами коренных пород, к которым приурочены елово-сосновые и сосново-еловые леса. Сложные болотные системы, разделенные довольно многочисленными корот-



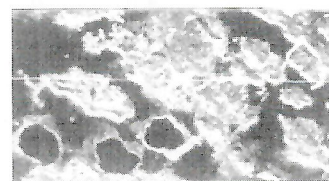
I



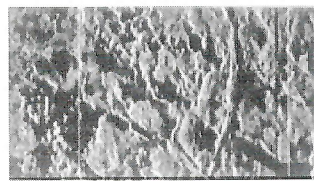
VI



XI



VIIa



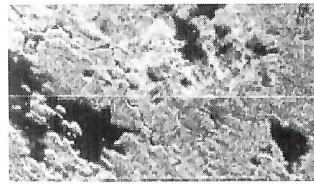
XIII



IIa



VIIб



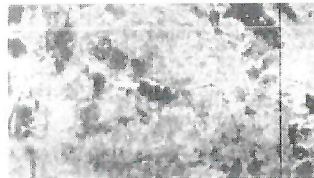
XIV



IIб



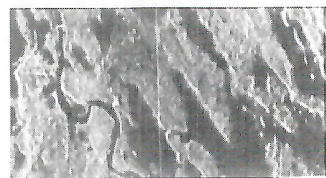
VIIв



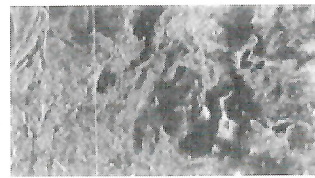
XV



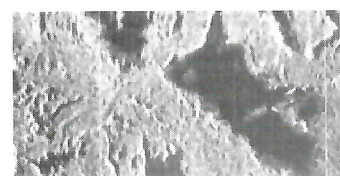
III



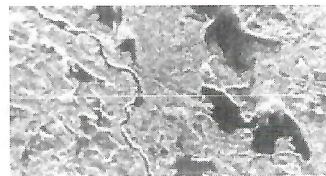
VIII



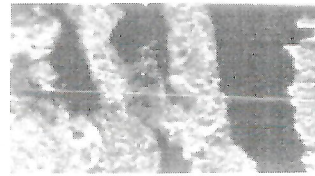
XVIa



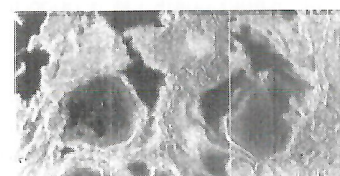
IV



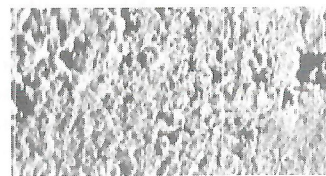
IX



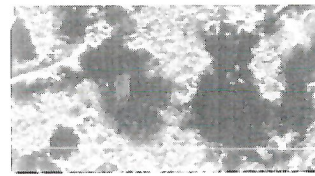
XVIб



V



X



XVIв

Рис. 6. Фрагменты радиолокационных изображений ландшафтных районов

кими речками, стекающими в Белое море, занимают до 80% площади. Речки окаймлены узкими полосами леса.

В пределах района следует выделить 3 подрайона в соответствии с 3 уровнями морских террас, которые хорошо видны на РЛС. Они отличаются своеобразным изображением, но очевидна и тесная взаимосвязь болот разных террас с грунтовыми водами.

Судя по топографической карте, первая (нижняя) терраса простирается от берега Белого моря до горизонтали 10 м, вторая — до 15 м, третья — до 20 м. Из литературных данных [2, 3] известно, что к этим террасам приурочены 3 типа болот: прибреговые, приморские и южно-приморские. На нижней террасе развиты прибреговые болота с мезотрофными травяно-сфагновыми сообществами на переходной топяной или лесотопяной залежи глубиной до 1 м. Выше расположены приморские болотные системы с центральными олиготрофными комплексами на залежи фускум вида глубиной до 2 м. На еще более высоких террасах наблюдаются южноприбеломорские системы, центральные части которых заняты грядово-мочажинными регрессивными и грядово-озерковыми денудационными комплексами дистрофной стадии развития со сфагновыми, печеночными и «римпи» мочажинами на залежах мощностью от 4 до 8 м.

II. *Северная всхолмленная равнина* с крупными болотными системами приурочена к протогеосинклинальному структурному комплексу Беломорского блока. Равнина имеет общий наклон к Белому морю. В ее пределах расположены Колежминский антиклинорий и Оленегубский синклинорий. Территория Колежминского антиклинория обособленная, перекрытая ледниковыми отложениями верхней морены из несортированных валунных песков, супесей и суглинков (подрайон IIa). Абсолютные отметки изменяются от 96 до 118 м. К всхолмленной равнине приурочены елово-сосновые леса северо-таежного типа.

В пределах Оленегубского синклинория развиты понижения, занятые торфяно-болотными послеледниковыми отложениями (подрайон IIб). Это обширные болотные массивы класса пологих склонов, близкие по характеру к болотам приморского типа. Здесь преобладают грядово-мочажинные олиготрофные комплексы, разделенные слабо проточными фильтрационными потоками с травяно-сфагновыми сообществами.

III. *Кряж Ветреного пояса* с грядовым денудационно-тектоническим типом рельефа. Холмы и гряды высотой до 200—300 м сложены изверженными и эффузионными сильно метаморфизованными породами архейского и протерозойского возраста. Повышения рельефа были покрыты хвойными лесами, значительная часть которых вырублена, а на местах вырубок сформировались молодые производные березники.

Между холмами и грядами расположены мелкие вытянутые болота, центральные топяные участки которых заняты мезотрофными травяно-сфагновыми или мезоолиготрофными сфагновыми ценозами на залежи, сложенной переходными пушицево-сфагновыми или осоково-сфагновыми торфами, мощностью до 1,5—2,0 м, а окраины болот находятся на верховых сфагновых торфах.

IV. *Южный склон Ветреного пояса* — всхолмленная равнина с абсолютными высотами около 200 м. Равнина сложена интрузивными и эффузивными сильно метаморфизованными породами синклинорной зоны Ветреного пояса, перекрытыми ледниковыми отложениями верхней морены (представлены несортированными валунными

песками, супесями, реже суглинками). Пересечена равнина отрогами кряжа Ветреный пояс. Повышенные участки рельефа покрыты смешанными хвойными и производными березовыми лесами. К понижениям приурочены болота класса сточных и проточных котловин. Господствующее положение занимают мезоолиготрофные комплексы с проточными фильтрационными топиями.

V. *Всхолмленная равнина*, приуроченная к Восточно-Водлозерскому антиклинорию. Коренные породы представлены беломорской серии: гранитизированными биотитовыми гнейсами и гранитогнейсами, плагиоклазовыми гранитами, гранодиоритами и кварцевыми диоритами. Породы кристаллического фундамента сверху перекрыты нерасчлененными отложениями текучих и стоячих талых ледниковых вод и приледниковых озер. По радиолокационному изображению воспринимается как «приподнятый» над окружающей территорией участок равнины. Абсолютные отметки 180—250 м. Преобладают сосново-еловые и елово-сосновые среднетаежные леса. Равнину дренируют р.Илекса и ее притоки. Довольно много озер, имеющих чаще всего форму, близкую к изометрической. Много болот в плане неправильной формы.

VI. *Всхолмленная равнина* с абсолютными высотами 182—288 м и общим уклоном на запад. Западная часть Восточно-Водлозерского антиклинория. Развиты отложения ледниковых вод и торфяно-болотные послеледниковые отложения на гнейсах, гранитогнейсах, гранитах, гранодиоритах и кварцевых диоритах беломорской серии. Чрезвычайно широко распространены болотные массивы, несколько вытянутые в меридиональном направлении. Болота глубокие, более 2 м. На суходолах произрастают смешанные сосново-еловые и елово-сосновые леса среднетаежного типа.

VII. *Район Южно-Выгозерского синклинория*. По характеру радиолокационных изображений подразделен на 3 подрайона:

Плоская слабонаклонная к Выгозеру равнина (VIIa) на озерно-ледниковых отложениях (глины, суглинки, супеси, пески, часто ленточного строения). Территория подрайона испытала влияние подтопления в результате создания Выгозерского водохранилища, что привело к заболачиванию и перестройке процесса торфонакопления. Зона влияния водохранилища совпадает с горизонталью 100 м. Глубина болот 0,5—1,2 м.

Нерасчлененный комплекс грядового и грядово-холмистого денудационного тектонического рельефа (VIIб). Абсолютные высоты 140—153 м. Леса смешанные среднетаежные.

Низкая заболоченная пойма р.Выг (VIIв). Развиты преимущественно осоковые болота и заболоченные леса.

VIII. *Наклонная равнина, обращенная к р.Выг*. Развиты позднеледниковые флювиогляциальные отложения: пески средне- и крупнозернистые с галькой и гравием и переменным содержанием валунов. Широко распространены торфяно-болотные отложения. Преобладают болота класса склонов. Леса смешанные среднетаежные.

IX. *Наклонная равнина, обращенная к р.Вожма*. Представлена послеледниковыми флювиогляциальными отложениями. Характерны обширные болотные массивы класса склонов олиготрофного типа, сфагновые, кустарничково-сфагновые.

X. *Территория водно-ледникового аккумулятивного рельефа*, для которого наиболее характерны камы, иногда

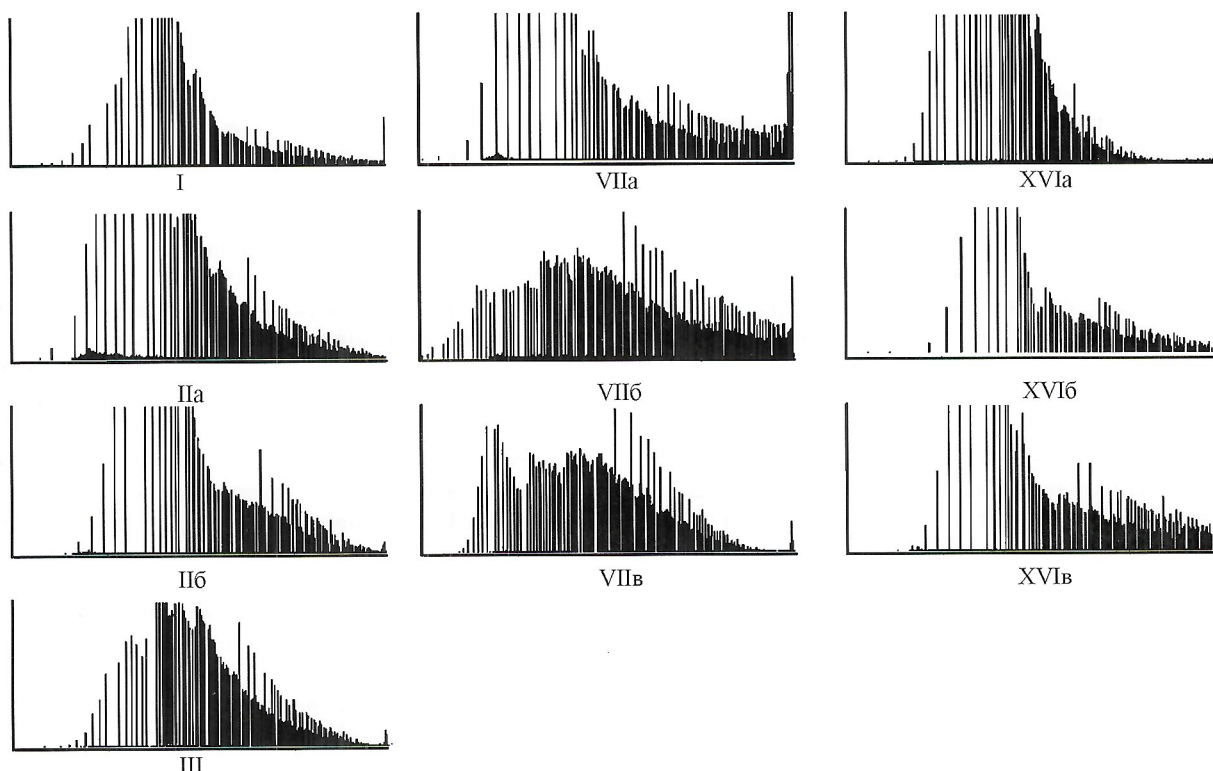


Рис. 7. Примеры гистограмм ряда ландшафтных районов

встречаются озы. Четвертичные отложения подстилаются гранитами, гнейсогранитами нижнего протерозоя. Основной тип растительности — сосновые леса северо-таежного типа. В межкамовых понижениях встречаются озера и мелкие болота класса замкнутых сточных котловин.

XI. *Район развития водно-ледникового аккумулятивного рельефа с преобладанием камов и единичными озами.* Камы сложены слоистыми песками, озы — гравелистыми. Рельеф сильно рассеченный. Высота камов и озов достигает 30 м. Камы и озы покрыты смешанными хвойными и березовыми лесами. К межкамовым понижениям приурочены многочисленные озера причудливых очертаний и мелкие болота класса замкнутых сточных котловин. Болота мезоолиготрофные и олиготрофные.

XII. *Челозерский* с ледниковым аккумулятивным рельефом, где встречаются камы и озы на метаморфических сланцах по вулканогенно-осадочным породам парандовской серии нижнего протерозоя. Камы и озы высотой 30—35 м. К ним приурочены смешанные и сосновые леса среднетаежного типа. По межкамовым и межозовым понижениям развиты сфагновые и осоково-сфагновые болота сточных котловин.

XIII. *Солотозерский* — всхолмленная равнина с нерасчлененным комплексом холмисто-грядового и водно-ледникового аккумулятивного рельефа. Характерно наличие кольцевых структур. Основную площадь занимают сосновые и смешанные елово-сосновые леса. К понижениям приурочены осоково-сфагновые болота сточных котловин.

XIV. *Территория денудационно-тектонического рельефа* на кристаллических породах перекрытых маломощным плащом рыхлых четвертичных пород. Основной тип растительности — смешанные елово-сосновые кустарничковые зеленомошные леса с осинкой.

XV. *Каменноозерский* приурочен к синклинали, сложенной магматическими сильно метаморфизованными и осадочно-эффузивными породами, среди которых расположен ряд мелких массивов ультраосновных пород. Коренные породы перекрыты плащом различной мощности рыхлых четвертичных пород, на которых развиты смешанные среднетаежные леса.

XVI. *Шунозерский* — центральная часть Пулозерско-Конжозерского синклиория. Сильно заболоченная всхолмленная равнина с обширными понижениями, к которым приурочены сложные болотные массивы с грядово-мочажинными и грядово-озерковыми комплексами. На положительных формах рельефа развиты смешанные елово-сосновые леса.

XVII. *Моренная волнистая равнина*, прилегающая к Ветренному поясу. Здесь развиты породы нижнего протерозоя — метадиабазы, метамандельштейны, метатUFFиты и зеленые сланцы по ним. Абсолютные высоты равнины колеблются от 117 до 168 м. В растительном покрове преобладают смешанные леса елово-сосновые с довольно большим участием ели.

XVIII. *Территория с нерасчлененным комплексом холмисто-грядовых и волнистых равнин* на метаморфических сланцах по вулканогенно-осадочным породам. Леса преобладали, очевидно, хвойные и смешанные, но в настоящее время значительная часть их замещена производными березняками.

При районировании для характеристики ландшафтов полезно использовать форму и другие параметры гистограмм и корреляционных функций, определяемых по значениям яркостей изображений.

На рис. 7 приведены гистограммы радиолокационных изображений некоторых из указанных ландшафтов, демонстрирующих отличия в их характере.

В настоящее время параметры космических радиолокационных систем позволяют получить изображения, которые могут быть использованы для решения указанных задач. Особенно следует отметить необходимость использования радиолокационных изображений для районов севера и северо-запада, отличающихся равнинностью, сильной заболоченностью и сложностью регулярного получения информации в видимом диапазоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анненская Г.Н., Видина А.А., Жучкова В.К. и др. Морфологическое изучение географического ландшафта / Ландшафтоведение. — М.: Изд-во АН СССР, 1963.

2. Галкина У.Ф., Козлова Р.П. Принципы районирования болот южной и средней Карелии / Очерки по растительному покрову Карельской АССР. — Петрозаводск, 1971.
3. Елина Г.А. Внутриландшафтное районирование болот Прибеломорья и примыкающих к нему ландшафтов на основе ком-плексного картографирования / Очерки по растительному покрову Карельской АССР. — Петрозаводск, 1971.
4. Исаченко А.Г., Дашкевич В.В., Карнаухова Е.В. Физико-географическое районирование Северо-запада СССР. — Л.: Гидрометиздат, 1965.
5. Можяева В.Г. Изучение рельефа по материалам радиолокационной аэросъемки. — Л.: Недра, 1982.
6. Применение радиолокационной аэросъемки при геолого-географических исследованиях / Под ред. В.М.Глушкова и В.Б.Комарова. — Л.: Недра, 1981.

УДК 528.8+550.8+621.039.58

© С.И.Турченко, Е.П.Вострокнутов, Н.А.Брусничкина, 2004

Применение методов дистанционного зондирования для моделирования места размещения хранилищ радиоактивных отходов в докембрийских геологических формациях

С.И.ТУРЧЕНКО, Е.П.ВОСТРОКНУТОВ, Н.А.БРУСНИЧКИНА

Концепция размещения радиоактивных отходов (РАО) в благоприятных геологических формациях требует оптимального подхода, поскольку для успешного решения такой задачи необходим выбор места хранилища РАО, от которого требуется стабильность геологического блока по крайней мере в течение 12 000 лет и надежная изоляция от окружающей среды. В 60-х годах прошлого века после проведения комплексных геологоразведочных работ и оценки долговременной безопасности хранилищ в России были введены в эксплуатацию полигоны глубинного захоронения жидких РАО вблизи действующих горно-химических предприятий. Однако такие хранилища размещены в стратифицированных отложениях фанерозойских формаций, обладающих пористостью и, соответственно, способностью миграции жидких РАО, хотя и безопасных по сценариям эволюционного развития системы захоронения [4]. Вместе с тем, международные соглашения предусматривают глубинное захоронение твердых и предварительно отверженных жидких РАО, что и отвечает государственной технической политике России в настоящее время [2]. Поиск мест благоприятных для создания безопасных и долговременных (от 10 до 50 тыс.лет) хранилищ РАО в геологических формациях рассматривался в различных альтернативных проектах, обобщенных в обзоре симпозиума по ядерным отходам на IX съезде Европейского Союза геологических наук в Страсбурге в 1997 г. [7]. Здесь рассматривались проекты захоронения РАО от зон современной субдукции и пустот отработанных соляных и нефтегазовых месторождений до древних кристаллических комплексов. Наиболее реальными в отношении безопасности, долговременности и устойчивости представляются хранилища, созданные в компактных кристаллических породах (массивных интрузивах), локализованных в стабильных геологических блоках раннедокембрийского возраста. Поиск благоприятных мест локализации хранилищ РАО в таких блоках может осуществляться при комплексном использовании материалов дистанционного зондирования совместно с базой геолого-геофизических, сейсмологических

и гляциологических и неотектонических знаний. Применение методов обработки материалов космических съемок позволяет наиболее экономично и быстро оценить благоприятные места, где могут быть проведены геологоразведочные работы с целью создания полигонов глубинного захоронения РАО. В данной статье рассматривается пример моделирования места локализации хранилища таких отходов в докембрийских кристаллических породах с применением методов дистанционного зондирования.

Моделирование места локализации хранилища РАО методами дистанционного зондирования. Наиболее благоприятными для захоронения РАО в геологических формациях считаются полигоны, породы которых обладают минимальной пористостью при максимальной прочности, залегающие в блоках со стабильной тектонической обстановкой и глубинной структурой, сейсмический режим которых спокойный. Плотность распространения разрывных нарушений и трещиноватости в таких блоках может быть оценена при обработке данных космических съемок. Среди докембрийских провинций России Карельский архейский кратон Балтийского щита оказался наиболее подходящим к указанным условиям, поскольку в его пределах по сравнению с другими геологическими провинциями полностью отсутствует современная сейсмическая активность или она выражена редкими землетрясениями магнитудой менее 3 баллов. Это подтверждается более чем столетними инструментальными наблюдениями за сейсмической активностью в Фенноскандии [6]. Такие условия низкой сейсмоактивности особенно типичны для центральной и юго-западной частей Карельского кратона, континентальная кора которого была сформирована в период 3,1—2,6 млрд.лет как гранит-зеленокаменная область и стабилизирована к началу раннего протерозоя. В период 2,5—2,1 млрд.лет эта область была частично активизирована процессами рифтогенеза и перекрыта отложениями эпикратонного бассейна. Во время Свеккофеннской орогении (2,0—1,85 млрд.лет) рассматриваемая часть кратона была повторно тектонически активизирована вдоль



Рис. 1. Фрагмент космоснимка КАТЭ-200 масштаба 1:1 000 000 спектрального диапазона 0,7—0,85 мкм южной части Карельского кратона к северо-востоку от Ладожского озера:

рамка — детальный участок космоснимка на рис. 3

ее юго-западной границы. Более поздним и завершающим тектоническим событием в рассматриваемом регионе явилось внедрение анорогенной рапакиви гранит-анортозитовой интрузии Салми и ее Улягского сателлита с U-Pb возрастом 1546—1530 млн. лет [5], являющееся эпизодом позднепротерозойского магматизма в фундаменте Восточно-Европейской платформы.

Методика применения дистанционных материалов. Дистанционные материалы масштабов 1:2 500 000—1:100 000 выбранного региона были подвергнуты экспертному структурному дешифрированию при совместном анализе структурно-геологических данных и интерпретации гравитационных и магнитных потенциальных полей. При моделировании места размещения хранилища РАО учитывались также минералого-петрографические особенности пород, гляциальная и нетектоническая история региона. Для структурного анализа были использованы космические снимки нескольких систем. При выявлении региональных площадей со слабо напряженным разломно-линеamentным полем дешифрировались космоснимки 1:2 500 000 масштаба ИСЗ «Метеор» различных сезонов съемки с разрешающей способностью 350 м спектральных диапазонов 500—700 и 700—1100 нм. Затем для выбранных площадей в пределах южной части Карельского кратона были отобраны наиболее информативные космоснимки КАТЭ-200 и МК-4 масштабов 1:1 000 000 и 1:200 000 спектральных диапазонов 0,6—0,9 мкм и разрешающей способностью 10—15 м (рис. 1), которые структурно дешифрированы и векторизованы для линеamentного анализа. Векторные структурные данные были обработаны специальной компьютерной программой «Edges 1.0», созданной в Лаборатории экспертных систем НИИКАМ. Обработка заключалась в фильтрации линеamentов по простиранию и длинам, распределению плотности линеamentов по площади, установлении анизотропии и плотности точек пересечения линеamentов. Плотности фильтро-

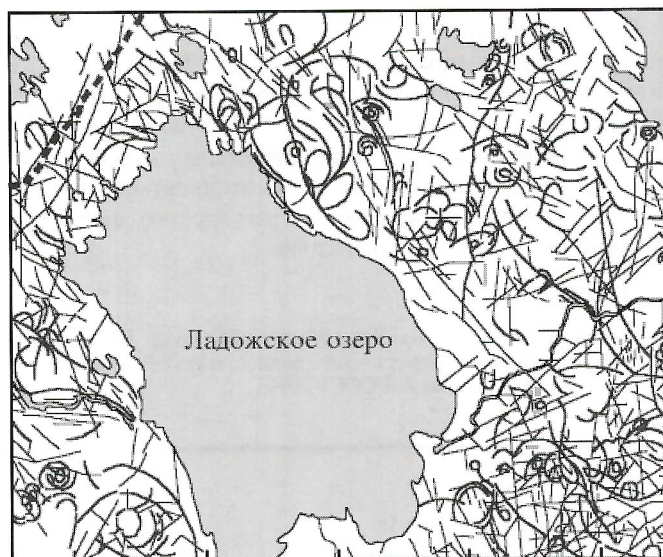


Рис. 2. Линеamentы и кольцевые структуры, дешифрированные по фрагменту космоснимка рис. 1:

вблизи северо-восточных берегов Ладожского озера выделяется крупная кольцевая структура, вмещающая несколько более мелких кольцевых структур и лишенная внутренних линеamentов

ванных линеamentов строились в пакете Surfer 6.0 для построения карт в изолиниях. Эти приемы позволили выделить в выбранной минимально напряженной области участки с минимальным проявлением тектонической активности, которые рассматривались в качестве благоприятных объектов для геологического моделирования глубинных хранилищ РАО. Кроме того, были использованы космоснимки LANDSAT TM масштабов 1:250 000 и 1:100 000 спектрального диапазона RGB-472 с целью выявления влияния атмосферных эффектов и растительного покрова на результаты структурного дешифрирования.

Результаты изучения дистанционных и геологических материалов. В результате структурно-линеamentного анализа космоснимков мелких масштабов было установлено, что в пределах древнего и наиболее стабильного блока Карельского кратона выделяются области повышенной плотности распространения линейных разрывных нарушений длиной 25—50 км с преимущественно северо-западным направлением структурных элементов и относительно ненарушенные области, обрамленные кольцевыми структурами (рис. 2). Области с минимальной плотностью линейных структур сосредоточены в юго-западной части Карельского кратона, между Ладожским и Онежским озерами, и именно для них характерно распространение крупных кольцевых структур диаметром 150—200 км. В пределах таких структур концентрируются кольцевые структуры меньшего размера (25—50 км диаметром) и разломы, не выходящие за пределы крупных кольцевых структур (рис. 3).

Одна из таких крупных кольцевых структур выделяется вблизи северо-восточных берегов Ладожского озера как минимально структурно-напряженная область. Структурное дешифрирование показало, что в состав крупной кольцевой структуры, охватывающей эту область, входят локальные овальные структуры (10×20 км), размещенные в кольцевой структуре диаметром 45 км, в пределах которой



Рис. 3. Детальный участок района Салминского залива и островов Ладожского озера (рамка см. рис. 1):

дешифрированный фрагмент космоснимка МК-4 масштаба 1:200 000 спектрального диапазона 0,7—0,8 мкм. Видны локальные кольцевые структуры и короткие разрывные нарушения, характеризующие центральную часть Салминской интрузии гранитов рапакиви

выделяются монолитные участки, и линейные зоны, подверженные воздействию разломов длиной 2—5 км. По характеру структурного рисунка, фототону изображения поверхности на космоснимках было установлено, что выбранная область и участок в ней отвечают структурно-однородным породам, характерным для областей развития магматических пород, в частности гранитоидов. По геологическим особенностям участок, выбранный методами дистанционного зондирования для моделирования хранилища РАО в докембрийских породах, соответствует месту расположения Салминского рапакиви гранитного интрузивного комплекса возрастом 1546—1530 млн.лет.

Салминский интрузивный комплекс простирается почти на 100 км вблизи северо-западных берегов Ладожского озера и на 40 км в северо-восточном направлении вглубь архейского кратона от границы со Свеклофенским орогеническим поясом раннепротерозойского корового возраста. В соответствии с грави- и магниторазведочными данными, Салминский интрузивный комплекс представляет собой мало глубинное плитообразное тело мощностью около 10 км в центральной части и от 2 до 5 км в краевых частях. Интрузив был внедрен в контактовой части складчато-надвиговой зоны Свеклофенского пояса с Карельским кратоном и перекрыт рифейскими вулканогенными и осадочными породами, вмещающими урановое стратиформное месторождение Карку возрастом около

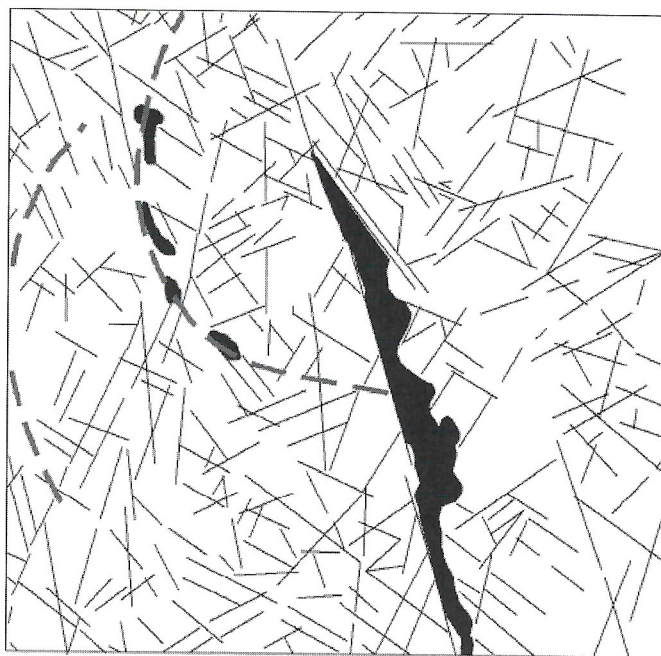


Рис. 4. Системы трещин в пределах локальной площади внутренней части мелкой кольцевой структуры Саоминской интрузии гранитов рапакиви. Дешифрировано с аэрофотоснимка масштаба 1:25 000

1350 млн.лет [3]. Это месторождение, расположенное вблизи Салминского интрузива, может рассматриваться как природный объект при проведении гидрогеологических и экологических исследований по проблеме захоронения РАО в геологических формациях.

Салминский интрузивный комплекс — многофазный, сложен шестью типами пород и породных ассоциаций: 1) габбро, габбронориты и анортозиты, 2) монцитониты, кварцевые сиениты и сиениты, 3) биотит-амфиболовые граносиениты, 4) наиболее распространенные амфибол-биотитовые граниты рапакиви, представленные овоидными и безовоидными разновидностями, 5) равномерно зернистые биотитовые граниты и 6) альбит-литиевые сидерофиллитовые топазсодержащие граниты. Первые две группы пород сосредоточены в юго-восточной части интрузива, где перекрыты позднепротерозойскими и современными ледниковыми отложениями. Граниты рапакиви (выборгиты и питерлиты) составляют более трети площади Салминского комплекса, и кольцевая структура, охватывающая структурно-гомогенную площадь (см. рис. 3), локализована именно в пределах выходов этих пород. Такой тип пород занимает центральную наиболее мощную и однородную часть интрузивного комплекса площадью около 1500 км², которая по материалам структурного дешифрирования космоснимков наименее нарушена крупными разломами. Именно этот район рассматривается в качестве модельного полигона, выбранного методами целенаправленных дистанционных исследований как объекта для глубинного захоронения РАО в докембрийских комплексах.

Изучение локальной площади в упомянутом районе на основе аэрофотоматериалов масштаба 1:25 000, позволило структурно детализировать участок в пределах выходов гранитов рапакиви Салминского комплекса (рис. 4). Здесь на площади 9 км² в центральной части участка наблюдаются региональная зона разлома северо-западного простира-

ния, которая отмечается на структурных схемах дешифрирования более мелких масштабов, а также фрагменты региональных кольцевых структур. Кроме них прослеживаются локальные зоны трещиноватости, наложенные на систему трещин регионального разлома. В пределах этой зоны отмечаются многочисленные трещины, которые в отличие от трещин разлома не выходят за пределы площади участка. Остальные трещины не имеют направленной ориентировки, располагаются хаотично и глубина их проникновения составляет, вероятно, не более 20 м. Протяженность наиболее длинных трещин по аэрофотоматериалам не превышает 100—200 м и к ним обычно приурочены жильные породы (гранит-аплиты и пегматоидные жилы). Основная масса трещин глубиной проникновения от 3 до 25 м при ширине субпараллельных систем трещин по полевым наблюдениям от 1 до 5 мм.

Участки с таким структурным рисунком типичны практически для всей площади распространения массивных гранитов рапакиви, рассматриваемых в качестве породного комплекса, благоприятного для захоронения РАО, в пределах которого выбор места полигона для размещения хранилища РАО смоделирован дистанционными методами. Возможные эффекты гляциальных и неотектонических событий, влияющих на экологическую безопасность и длительную сохранность хранилища РАО, могут быть учтены наблюдениями над свидетельствами прошлых ледниковых событий в этом регионе. Циклические гляциальные и межгляциальные события, происходившие в относительно недавнее геологическое время, показывают, что резкие климатические изменения, связанные с катастрофическим оледенением и последующим потеплением, которое приведет к глубинной эрозии и разрушению хранилища РАО в скальных породах, могут произойти не ранее ближайших 100 000 лет. Неотектонические события, связанные с постледниковым поднятием Фенноскандии, в пределах рассматриваемого региона минимальны (0,2 мм в год), поскольку максимально быстрое поднятие, наблюдаемое в северной части Ботнического залива, составляет 9 мм в год [8].

Приведенные данные демонстрируют возможность моделирования мест размещения хранилищ РАО в геологических формациях с помощью комплексного применения структурно-дистанционных и геологических методов изучения территорий. Наиболее рациональные места такого изучения — области распространения докембрийских комплексов на щитах в сейсмически устойчивых областях, не затронутых фанерозойскими и неотектоническими движениями. Структурное и объектное дешифрирование дистанционных материалов разной степени генерализации данных, различных масштабов, сезонов съемки, разреша-

ющей способности космоснимков и систем съемки позволяет уверенно прогнозировать наиболее благоприятные места для дальнейшего проведения дорогостоящих и технически сложных геологоразведочных работ с целью установления конкретного полигона будущего подземного хранилища ядерных или высокотоксичных отходов. Критериями таких мест с точки зрения применения дистанционных методов зондирования Земли являются области, ограниченные достаточно крупными кольцевыми структурами, вмещающими локальные кольцевые структуры диаметром 40—50 км, лишенные значимых зон разрывных нарушений. Детализация подобных участков в отношении структурной нарушенности может быть проведена по космоматериалам или аэроснимкам высокой разрешающей способности. Уверенность в выборе мест локализации хранилищ РАО может быть достигнута при комплексном анализе аэрокосмической и геолого-геофизической информации методами ее обработки современными ГИС-системами с использованием оценки достоверности результатов экспертными системами, например, экспертной системой «Генезис-2», разработанной в НИИКАМ [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вострокнутов Е.П., Брусничкина Н.А., Турченко С.И. Экспертные системы в прогнозно-геологических исследованиях на основе аэрокосмической информации // *Аэрокосмические методы геологических исследований*. — С-Пб., 2000. С. 256—287.
2. Егоров Н.Н. Состояние проблемы с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом России // *Вопросы радиационной безопасности*. 1997. № 4. С. 3—8.
3. Новиков Г.И., Кушнеренко В.К., Пичугин В.А. и др. Геолого-структурное положение и основные особенности уранового месторождения Карку (Приладожье) // *Материалы по геологии месторождений урана и редких металлов*. 2001. Вып. 143. С. 21—30.
4. Паркер Ф.Л., Рыбальченко А.И., Величкин В.И. и др. Анализ долговременных последствий глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов на горно-химическом комбинате. Красноярский край: 1. Основной сценарий // *Геология рудных месторождений*. 1999. № 3. С. 467—484.
5. Amelin Yu.V., Larin A.M. and Tucer R.D. // *Chronology of multiphase emplacement of the Salmi rapakivi granite-anorthosite complex, Baltic Shield: implication for magmatic evolution. Contribution Mineralogy and Petrology*. 1997. Vol. 127. P. 353—368.
6. Gregersen S., Korhonen H., Husebye E.S. // *Fennoscandian dynamics present-day earthquake activity. Tectonophysics*. 1991. Vol. 189. P. 333—344.
7. *Nuclear waste management in earth sciences // Episodes*. 1997. Vol. 20. № 2. P. 129—130.
8. Sjöberg L. // *Studies of the land uplift and its implications on the geoid in Fennoscandia. University of Uppsala. Inst. of Geophys.* 1982. Rep. 14.

Мониторинг лесов Карельского перешейка по дистанционным данным на основе ГИС-технологий

А.А.РУСАНОВА, К.Л.ЛИПИЯЙНЕН

В России накоплен более чем 200-летний опыт ведения организованного лесного хозяйства, базирующегося на данных изученности лесов, наблюдениях за их состоянием и использованием. Практически в стране весь этот период велся специализированный мониторинг лесов на основе данных лесоустройства, различных видов обследований, регулярного наземного, а позднее и авиационного патрулирования лесов. Мониторинг обеспечивал решение различных задач, в основном таких, как актуализация данных инвентаризации лесов, охрана лесов от пожаров и защита их от вредителей и болезней, контроль за порядком лесопользования. В настоящее время в основу технической базы комплексной системы мониторинга лесов в условиях России, при наличии больших площадей труднодоступных лесных массивов, должны быть положены дистанционные методы и ГИС-технологии [3].

Цель исследований — создание ГИС-технологии выявления изменений (в частности, вырубок) в лесах на основе компьютерного анализа полученных в разные годы цифровых космических снимков и картирование вырубок, проведенных в лесах разного типа на территории Карельского перешейка, с использованием разработанной технологии.

Карельский перешеек, расположенный в пределах Ленинградской области характеризуется уникальным растительным и животным миром. Большая часть его занята лесами, в основном хвойными и в меньшей степени лиственными, которые играют важную роль в сохранении чистоты атмосферного воздуха, гидрологического баланса и биологического разнообразия территории. В последние годы огромный ущерб наносится лесам в результате интенсивной хозяйственной деятельности, лесных пожаров, самовольных вырубок. Лесные территории нуждаются в постоянном наблюдении и учете произошедших изменений. В условиях сокращения непосредственных наземных наблюдений, обусловленных недостаточным финансированием, мониторинг лесов можно эффективно осуществлять на основе данных космических снимков.

Изменения в окружающей среде (например, вырубки, гари) могут быть выявлены на основе применения дистанционных методов только при условии, что эти изменения вызывают измеримые различия в регистрируемом сигнале. Возможность обнаружения этих изменений зависит от спектрального, пространственного, временного и радиометрического разрешения сенсора. Космические снимки, которые предполагается использовать для выявления изменений, произошедших на лесных территориях за некоторый период времени, должны быть получены по возможности в одинаковое время года и суток, что позволяет уменьшить влияние сезонного изменения растительности и различий в освещенности исследуемой территории. Рекомендуется выбирать сезон съемки, когда растительность находится в относительно стабильной фенологической фазе [5]. Наиболее благоприятным периодом съемки для Карельского перешейка считается июль—август.

Для исследования были выбраны космические снимки Landsat 5 TM и Landsat 7 ETM+, полученные в августе

1990, 1996, 1997 и 1999 гг., а также в июне 1999 г., как наиболее подходящие для выполнения поставленных задач. Снимки 1996 г. (западная часть Карельского перешейка) и 1997 г. (восточная часть Карельского перешейка) частично перекрываются друг другом и вместе охватывают территорию Карельского перешейка, снятую в 1990 г. Три снимка 1999 г. также перекрываются и вместе охватывают территорию Карельского перешейка, снятую ранее. Таким образом, это позволило оценить изменения, произошедшие в лесах Карельского перешейка за два периода с 1990 г. по 1996/1997 г. и с 1996/1997 г. по 1999 г.

Сенсоры Landsat TM и ETM+ обеспечивают получение необходимой информации о растительном покрове, благодаря достаточно высокому пространственному разрешению (30 м для мультиспектральных каналов и 15 м для панхроматического канала Landsat 7) и спектральным характеристикам, канал (в мкм): 1 — 0,45—0,52; 2 — 0,52—0,6; 3 — 0,63—0,69; 4 — 0,76—0,90; 5 — 1,55—1,75; 6 — 10,4—12,5; 7 — 2,08—2,35 и панхроматический — 0,52—0,9. Кроме того, один кадр фиксирует площадь 180×180 км и позволяет охватить территорию Карельского перешейка всего несколькими снимками. Съемка одной и той же территории проводится с периодичностью 16 дней, что дает возможность подобрать необходимый набор снимков близких по дате съемки с минимальным процентом облачности.

Технология разрабатывалась на примере 8 тестовых участков, каждый площадью 400 км² предварительно детально изученных (на предмет спектральных характеристик природных объектов и их изменений) в процессе визуального дешифрирования космических снимков 1990 и 1996/1997 гг., аэрофотоснимков и полевых наблюдений (рис. 1, см. вставку в середине журнала). В ходе исследования использовались коммерческие ГИС пакеты: ERDAS Imagine и MapInfo.

Основные этапы разработанной технологии (рис. 2, см. вставку в середине журнала) включают: радиометрическую калибровку снимков, пространственное совмещение снимков, вычисление разности отдельных каналов снимков разных лет, создание «маски» для отсека незначимых изменений, формирование файла для проведения классификации, классификацию «с обучением», уточнение результатов классификации, оценку результатов классификации, создание результирующей схемы изменений [1, 2].

Радиометрическая калибровка снимков. Космические снимки, полученные в различные годы, нуждаются в радиометрической калибровке с целью сведения к минимуму влияния различий в условиях съемки, которые могут спровоцировать появление ложных изменений. Один из наиболее эффективных методов — относительная калибровка, т.е. приведение значений яркости одного снимка к другому (выбранному в качестве основного). Этот процесс может реализовываться различными способами. Например, подбором гистограмм. Метод, использованный в технологии, основан на выявлении отдельных устойчивых объектов. К таким объектам с некоторыми допущениями

относят открытые песчаные участки земной поверхности, обладающие стабильно высокими значениями радиометрии и имеющие на снимке светлый тон, и спокойные водные поверхности, характеризующиеся обычно низкими значениями радиометрии, фиксирующиеся на снимке темными тонами. Изменения солености или температуры воды могут привести к неточностям в калибровке, и поэтому к устойчивым объектам можно добавить лесные территории, не подвергшиеся изменениям. Калибровка осуществляется на основе модели, в которой используется система двух линейных уравнений или регрессионной модели. В дополнение возможно проведение абсолютной калибровки [4]. Снимки 1996 и 1997 гг. были откалиброваны радиометрически по отношению к снимку 1990 г., выбранному в качестве основного.

Пространственное совмещение снимков играет важную роль для последующего корректного выделения изменений, произошедших за период между двумя датами. В результате влияния специфических факторов (изменения в траектории спутника и т.д.), два спутниковых изображения одного и того же участка, выполненные в разное время, нельзя сравнивать без предварительного пространственного совмещения. Совмещение не бывает идеальным, но следует стремиться к минимальным значениям ошибок для того, чтобы обеспечить достоверность полученных результатов. Совмещение снимков выполняется с использованием аппроксимирующих моделей (полиномов различных степеней) по опорным точкам, опознающимся на каждом снимке. Снимки 1996 и 1997 гг. были совмещены со снимком 1990 г. Размер выходного изображения определялся размерами снимка 1990 г. Это позволило занести в выходной файл только перекрывающиеся части снимков.

Вычисление разности каналов. Картирование изменений может основываться на интерпретации исходных изображений или на интерпретации изображений, предварительно специально обработанных. Цель преобразования обычно — повышение возможностей извлечения существенной информации и ограничение количества информации, используемой в процессе анализа.

В процессе исследования применялся метод, основанный на вычислении разности соответствующих спектральных каналов двух разногодичных снимков [5]. Так как природным объектам свойственны определенные спектральные характеристики, то на позднем и раннем снимках они будут выглядеть одинаково в том случае, если они не претерпели никаких существенных изменений. Следовательно, на изображении разности значений в пределах неизменных объектов будут близки к нулевым. Если объект (например, лес) был подвержен каким-либо изменениям (например, вырубке), то его спектральные характеристики на более позднем снимке будут отличаться, что отражается на изображении разности. При использовании вычитания канала раннего снимка из такого же канала позднего снимка, получается изображение разности снимков, позволяющее эксперту сфокусироваться на участках изображения с существенными радиометрическими изменениями, обусловленными изменениями в природопользовании.

Предварительно качество отдельных каналов исходных снимков было оценено визуально и по гистограмме. Наиболее удовлетворительное качество оказалось у 4, 5, и 7 каналов всех выбранных снимков, что соответствует ближнему и среднему ИК диапазонам. На каналах 1, 2 и 3 наблюдался технический дефект — строчность. Несмотря

на это, канал 3 (красный диапазон) был также выбран для анализа, что обусловлено важностью этого спектрального диапазона для индикации растительного покрова. Таким образом, разность была вычислена с использованием каналов 3, 4, 5 и 7 снимков 1990 г. и 1996/1997 гг.

Визуальный анализ цветовых композиций (RGB), составленных из изображений разностей (каналы 4, 5 и 3) на территорию тестовых участков показал, что большая часть площади участков интенсивно изменена. Чистые вырубки хорошо отражаются в красном (канал 3) и среднем (канал 5) ИК диапазонах. Зрастающие вырубки отражаются примерно с равной интенсивностью во всех диапазонах длин волн. Некоторые изменения в пределах сельскохозяйственных угодий, болот, торфяников и заболоченных берегов озер имеют сходные спектральные характеристики с изменениями обусловленными вырубками.

Создание «маски». Повысить достоверность автоматического распознавания вырубок и их классификации можно за счет введения дополнительных критериев. С этой целью вычисляется изображение, характеризующее изменения в 4-х каналах одновременно, и на его основе с использованием порога создается бинарное изображение — маска для исключения зон с незначительными изменениями. Значение порога определяется в интерактивном режиме по гистограмме так, чтобы сохранить только значимые изменения. Использование «маски» ограничивает количество анализируемых данных и позволяет использовать в дальнейшей классификации только области изображения со значимыми изменениями.

Формирование файла для проведения классификации. Файл для проведения классификации формируется с помощью набора слоев из 4-х каналов раннего изображения и 4-х разностей каналов с учетом изображения-маски. Изображение-маска позволяет исключить из анализа зоны с незначительными изменениями, более ранний снимок несет информацию о составе лесов, претерпевших изменения в последствии.

В результате для классификации было получено два файла, каждый из восьми слоев. В первом использовались в добавление к снимку 1990 г. разности каналов снимков 1996 и 1990 гг. Во втором — разности каналов снимков 1997 и 1990 гг.

Классификация — это процесс сортировки пикселей, составляющих изображение, в установленное число классов, в зависимости от их спектральных характеристик. Если пиксел удовлетворяет некоторому критерию, то он будет занесен в определенный класс. Классификация выполнялась для каждого пиксела снимка, оставшегося после наложения «маски».

В технологии предусмотрена классификация «с обучением» (контролируемая), опирающаяся на априорные знания, полученные при полевых наблюдениях, а также при визуальном дешифрировании аэро- и космических снимков. В интерактивном режиме определяются информативные классы и участки, используемые в качестве эталона для каждого класса (например, класс «сплошная вырубка в еловом лесу»). Система «учится» классифицировать пиксели и заносит их в наиболее подходящий класс, имеющий соответствующие спектральные характеристики. При классификации каждый пиксел относится к определенному эталонному классу.

Условно процедуру классификации можно разделить на следующие этапы: определение спектральных характерис-

тик эталонных классов, оценка статистической разделимости классов и, наконец, собственно классификация.

На первом этапе определялись спектральные характеристики каждого эталонного класса, на основе характеристик пикселей, соответствующих известным объектам. В действительности же, характеристики пикселей, относимых, например, к одному классу могут отличаться друг от друга. Проблема состоит в том, чтобы определить число допустимых отклонений. С целью оценки принадлежности пикселей к данному классу вычислялось спектральное евклидово расстояние, позволившее установить допустимую дисперсию значений яркостей пикселей, включаемых в класс. Если удаленность пикселя была слишком велика, то он не включался в класс. Для эталонных классов была создана легенда, использовавшаяся в последующем при классификации и включающая название класса, цвет, которым он будет фиксироваться на результирующем тематическом изображении, и другие характеристики.

На втором этапе оценивалась статистическая разделимость классов на основе алгоритма «*Transformed divergence*». В случае, когда два класса имеют частично перекрывающиеся или даже идентичные спектральные характеристики, процесс классификации может быть затруднен. Если разделение двух классов оказывается невозможным, то создается новый класс для того, чтобы объединить два существующих класса, или для того, чтобы более подробно изучить спектральные характеристики обоих классов и попытаться найти показатель разделимости.

На третьем этапе после создания списка эталонных классов с корректными характеристиками, проводится классификация на основе алгоритма «максимального правдоподобия». В результате классификации создается изображение в виде тематического растрового слоя, отражающее распределение пикселей по классам. Каждый пиксел сохраняет легенду, созданную для эталонных классов. В дополнение создается вспомогательный файл «расстояний», необходимый для дальнейшего уточнения результатов классификации.

Приведем для примера следующий список эталонных классов пары снимков 1990 и 1997 гг., составленный после анализа разделимости классов:

1. Сплошные вырубки в разреженных сосновых лесах 1.
2. Сплошные вырубки в разреженных сосновых лесах 2.
3. Сплошные вырубки в смешанных лесах с преобладанием лиственных пород 1.
4. Сплошные, слабо заросшие вырубки в смешанных лесах с преобладанием хвойных пород.
5. Сплошные вырубки в смешанных лесах.
6. Сплошные вырубки в смешанных лесах с преобладанием лиственных пород 2.
7. Сплошные, слабо заросшие вырубки в лиственных лесах.
8. Зарастающие вырубки в смешанных лесах с преобладанием хвойных пород.
9. Сплошные свежие вырубки в еловых лесах.

Полученные обучающие классы были использованы при классификации для пары снимков 1990—1997 гг. Аналогичная процедура была проведена для пары снимков 1990—1996 гг., что позволило определить тип изменений (категории вырубок), произошедших на изучаемой территории между 1996/1997 г. и 1990 г.

Уточнение результатов классификации. Сопоставление результатов классификации с исходными снимками и

данными, полученными в ходе визуального дешифрирования, в пределах хорошо изученных тестовых участков, показало, что в выделенные классы попали частично пиксели, принадлежащие другим объектам. В частности, при анализе класса «сплошная вырубка в лиственном лесу», оказалось, что к этому классу отнесены в некоторых случаях сельскохозяйственные территории и болота. Проблема была решена при уточнении результатов классификации с использованием пороговых значений для классов в файле, полученном также после классификации и содержащем значения «расстояний» классов. Порог задавался с помощью критерия χ^2 .

На основе полученного результирующего тематического слоя классификации изменений с добавлением слоев гидрографии, дорог и населенных пунктов была создана схема вырубок для первого оцениваемого периода (1990 г.—1996/1997 гг.), приведенная к проекции Гаусса—Крюгера (зона 5, осевой меридиан 27° в.д.).

Оценка результатов классификации. Сопоставление результатов классификации «с обучением» и визуального дешифрирования в пределах тестовых участков позволило заключить, что они хорошо совпадают. Расхождения наблюдаются при определении категории вырубок. Незначительные зафиксированные расхождения могут быть обусловлены тем, что при визуальном дешифрировании информация обобщается: выделяются контуры крупных объектов и относятся к одному классу. В пределы этих контуров могут попасть небольшие по площади объекты, относящиеся к другим классам. При автоматической классификации объекты относятся к классу, к которому они вероятно и принадлежат. В результате, если площадь выделенных объектов и получается близкой по данным двух методов, то их форма и пропорциональное соотношение классов может различаться.

При визуальном дешифрировании не всегда было возможно провести четкое разделение классов смешанных лесов с преобладанием хвойных пород, смешанных лесов с преобладанием лиственных пород и смешанных лесов. Однако, тем не менее, эти классы были разделены во время автоматической классификации.

И, наконец, хвойные леса имеют несколько различающиеся спектральные характеристики в пределах обширной исследуемой территории. Состав пород деревьев может также изменяться от одного участка к другому. На некоторых участках чисто сосновые и чисто еловые леса различаются очень четко; на других преобладают хвойные леса елово-сосновые, иногда с незначительной примесью лиственных пород, что затрудняло процесс отнесения объекта к определенному классу при визуальном дешифрировании.

Проведенный анализ результатов автоматической классификации дает возможность сделать вывод о том, что лучше всего выделяются вырубки в хвойных лесах, причем, уверенно разделяются вырубки в еловых и сосновых лесах. Вырубки в смешанных лесах также всегда картируются корректно, но в данном случае появляются некоторые разночтения в отнесении (определении категории вырубки) вырубок к классам (например, к классам «вырубка в смешанных лесах с преобладанием хвойных пород» или «вырубка в смешанных лесах с преобладанием лиственных пород»). Вырубки в лиственных лесах мало распространены на исследуемой территории, поэтому трудно статистически оценить возможности их выделения.

По данным автоматической классификации были замечены также и неточности, допущенные при визуальном де-

шифровании. Так, например, с одной стороны, наметился ряд небольших вырубок, пропущенных при визуальном дешифрировании. С другой, незначительное число изменений, например, изменения береговой линии озер, изменения уровня воды болот, иногда различия в состоянии леса, были ошибочно отнесены к классу вырубок. Неуверенно определялись несплошные рубки.

Создание результирующей схемы изменений. Разработанная технология использовалась для составления второй схемы вырубок, проведенных в период между 1996/1997 г. и 1999 г.

Для каждой пары снимков применялись методы обнаружения изменений и классификации, уже описанные, результаты которых были сведены воедино. Таким образом, была составлена схема вырубок для второго оцениваемого периода (1996/1997 г. и 1999 г.) в проекции Гаусса—Крюгера (зона 5, осевой меридиан 27° в.д.), включающая также слои населенных пунктов, гидрографии и дорог (рис. 3).

Полевая проверка результатов, полученных для территории Карельского перешейка, была направлена на проверку объектов, отмеченных на результирующих схемах изменений 1990 г.—1996/1997 г.—1999 г. и интерпретируемых как вырубки в лесах разного типа. Отдельно описывались вырубки, предположительно проведенные по данным исследования в период между 1990 г.—1996/1997 г., и

Сопоставление площадей вырубок в лесах различного типа на Карельском перешейке за исследуемые периоды

Класс	Код	Общая площадь вырубок, га	
		1990 г.—1996/97 г.	1996/97 г.—1999 г.
Сплошные вырубки в лесах:			
сосновых	10	875	668
сосновых без подлеска	11	482	531
хвойных	15		951
еловых	20	4507	1095
смешанных с преобладанием хвойных пород	30	2204	1736
смешанных	40	557	325
смешанных с преобладанием лиственных пород	45	541	45
лиственных	50	1033	
Итого:		10 199	5351

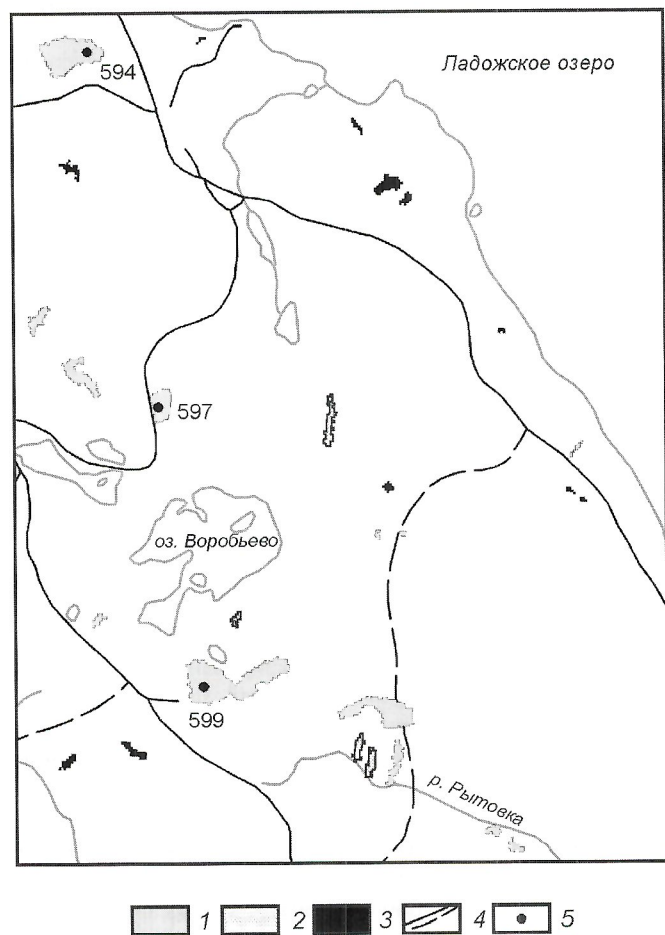


Рис. 3. Схема вырубок 1996—1999 гг. по результатам технологий. Восточная часть тестового участка 2:

вырубки в лесах: 1 — сосновых, 2 — хвойных, 3 — смешанных, в т. ч. зарастающие; 4 — дороги; 5 — точки полевых наблюдений на вырубках

вырубки 1996/1997 г.—1999 г. (общее число проверенных вырубок 175).

Сопоставив полученные на основе разработанной технологии схемы вырубок и результаты полевых работ можно сделать следующие выводы:

1. В ходе полевых работ было обследовано 54 объекта, отмеченные на схеме вырубок 1990 г.—1996/1997 г. и 55 объектов, отмеченных на схеме 1996/1997 г.—1999 г. Все проверенные объекты справедливо отнесены к классу вырубок (рис. 4, см. вставку в середине журнала).

2. Данные классификации вырубок (1990 г.—1996/1997 г.) достаточно хорошо согласуются между собой при определении типа вырубленных лесов. Отличие заключается в оценке степени зарастания вырубки (перерыв между проведением космических съемок и полевых наблюдений составляет 3—4 года). Данные классификации вырубок (1996/1997 г.—1999 г.) и полевые наблюдения в большей степени совпадают между собой.

Результаты применения разработанной технологии представлены в виде схем вырубок, проведенных на Карельском перешейке за 1990—1999 гг. (оценивалась территория площадью 1 288 800 га, в пределах красного контура, см. рис. 1, вставка в середине журнала). Анализ этих схем, позволил установить, что общая площадь вырубок за 1990 г.—1996/1997 г. составила 17 326 га, а за период 1996/1997 г.—1999 г. — 7470 га. Следовательно, изменения будут соответственно равны 1,3 и 0,58% от общей площади. В 1990 г.—1996/1997 г. наиболее распространены вырубки в лесах еловых, сосновых и смешанных с преобладанием хвойных пород (см. таблицу). В 1996/1997 г.—1999 г. наибольшую площадь имеют вырубки в лесах смешанных с преобладанием хвойных пород, еловых и сосновых. Сплошные вырубки представляют собой обычное явление и широко распространены на Карельском перешейке.

На обеих результирующих схемах отражены не все возможные классы вырубок, так как процесс выбора эталонных объектов носит в некоторой степени субъективный характер, зависящий от интерпретатора. Например, в схему (1990 г.—1996/1997 г.) не включен класс «вырубки в хвойных лесах». Объекты, которые могли войти в этот класс, распределились, по-видимому, по классам «вырубки в сосновых лесах», «вырубки в еловых лесах» и «вырубки в смешанных лесах с преобладанием хвойных пород».

В заключение следует отметить, что разработанная технология анализа космических снимков позволяет достаточно быстро и эффективно выявлять сплошные вырубки на лесных территориях. Технология может представлять интерес для органов управления лесным хозяйством страны, природоохранных организаций.

Результаты исследования были переданы в Департамент природных ресурсов по северо-западному региону, занимающему контролем эксплуатации лесов. Департамент получил возможность сравнить данные, предоставляемые лесными хозяйствами с теми, которые были получены на основе использования технологии и дистанционных данных.

Оперативный мониторинг лесов по космическим снимкам Landsat рекомендуется проводить каждый год. Периодичность в два года также возможна, но лесозаготовительные работы часто ведутся слишком активно, поэтому предпочтение следует отдать проведению ежегодного мониторинга.

Технология разрабатывалась на основе ГИС программы ERDAS Imagine и космических снимков Landsat для территории Карельского перешейка, но она может быть адаптирована и к другим программным средствам, позволяющим обрабатывать космические снимки (ER Mapper, ENVI и др.), другим доступным пользователям мультиспектральным космическим снимкам (SPOT, IRS и др.) и другим территориям.

Исследование выполнялось при поддержке Европейского союза в рамках проекта LIFE/ SOS — Forest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Русанова А.А., Литияйнен К.Л., Вуорела А. ГИС-технология изучения изменений лесов Карельского перешейка по дистанционным данным (на базе пакета ERDAS Imagine) // Тез. докл. конференции пользователей программных продуктов фирм ERDAS и ESRI. — С-Пб.: Дата+, 2001 (диск).
2. Русанова А.А., Вуорела А., Круглова О.В., Уикс Ж.П. «SOS FOREST»: Разработка системы наблюдения и контроля за лесами. — С-Пб., 2001.
3. Сухих В.И. Структура и техническая основа мониторинга лесов России / Докл. Интернет-конференции «Экологический мониторинг: опыт создания в регионах ЕГСЭМ. Методы аэрокосмического мониторинга». Сайт Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды. 1999.
4. Chavez P.S. Image-based atmospheric corrections — revisited and revised // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62 (9). 1996. P. 1025—1036.
5. Hame T. Spectral interpretation of forest changes using satellite images interpretation. Acta Forestalia Fennica. № 222. Helsinki. 1991.

УДК 528.87:63

© Коллектив авторов, 2004

Дистанционный мониторинг сельскохозяйственных культур Ленинградской области

М.А.ШУБИНА, Т.А.ПОПОВА, В.Г.СУРИН, С.В.ВИКТОРОВ

Сельскохозяйственное производство как плановое, так и рыночное, нуждается в объективной, точной и надежной своевременной информации о состоянии сельскохозяйственных угодий на разных стадиях развития. С самого начала появления средств дистанционного зондирования проблема информационного обеспечения сельского хозяйства привлекала внимание специалистов [1, 3—5], а в настоящее время дистанционные методы прочно вошли в практику США и развитых стран Европы. Существует ряд европейских проектов, связанных с использованием аэрокосмической информации для сельского хозяйства. Например, система мониторинга для Отдела изучения урожаев и сбыта картофеля (Potato Marketing Board — PMB), система оценки урожайности зерновых (Cereal Yield Estimation System, Cereal YES). Эти системы применяют технологии спутникового дистанционного зондирования и ГИС для картографирования посевов, точной оценки их состояния и прогноза урожая и, как следствия, годового дохода. Проекты финансировались Центром по исследованию Земли Европейского Сообщества (CEO). В таких проектах использовались изображения высокого разрешения со спутников IRS-LISS и SPOT-XS, а также локальные метеорологические данные и информация о состоянии почв и посевов, а также данные сельскохозяйственной статистики.

В 1998—2001 гг. в рамках международного проекта STARS при поддержке TACIS французский опыт монито-

ринга сельскохозяйственных культур, базирующийся на применении современных информационных технологий и космических средств, сочетался с украинским опытом дистанционного зондирования и его наземного сопровождения на территории Каневского и Мироновского районов.

В нашей стране на начальном этапе становления и развития исследований по этой проблеме большие циклы работ были выполнены в Государственном научно-исследовательском центре изучения природных ресурсов (ГосНИИЦПР) Гидрометслужбы, Всесоюзном научно-исследовательском центре «Автоматизированная информационно-управляющая система - агресурсы» (АИУС-агресурсы), НИИ сельскохозяйственной метеорологии (НИИСХМ) Гидрометслужбы. Следует заметить, что в нашей стране в 60—70-е годы XX в. довольно широко использовались авиационные средства контроля агротехнического производства.

В настоящее время после длительного перерыва в России вновь назрела потребность в получении истинной картины землепользования, кадастров земель и наиболее объективную картину в этом плане предоставляет спутниковая информация.

Сейчас по пространственному разрешению спутниковая информация видимого диапазона (разрешение первые метры и даже доли метра) почти не уступает соответству-

ющим авиационным данным. При сопоставлении обоих видов изображений основную роль играют экономические и организационные аспекты, включая сроки доставки информации потребителю, обеспечение регулярности и надежности выполнения съемки.

Природные условия Ленинградской области и сложившиеся особенности земледелия в ней определяют необходимость формулировать задачи применительно к масштабам имеющихся угодий и способам ведения хозяйства. В статье представлен опыт использования космических изображений для мониторинга зерновых и пропашных культур указанной области.

Общие принципы наблюдения растительности дистанционными методами в оптическом диапазоне спектра. В Лаборатории аэрометодов АН СССР (ЛАЭР—ЛАЭМ, позже ВНИИКАМ, НИИКАМ) с 50-х годов прошлого века разрабатываются теоретические основы дистанционных методов и дешифрирования различных компонентов природной среды, в т.ч. растительности и почв. Для решения этих задач в течение многих лет коллектив сотрудников проводил экспериментальные аэрофотосъемки в различных районах страны, в частности, в Ленинградской области и других областях Северо-Запада [1, 4].

Дешифрирование травянистой растительности по материалам дистанционных съемок основано в первую очередь на спектральных характеристиках растений и их сообществ. В оптическом диапазоне для растений характерны: две зоны поглощения световой энергии хлорофиллом — синяя (400—470 нм) и красная (590—680 нм), две зоны отражения — зеленая (510—580 нм) и ближняя ИК-зона (800—2500 нм). Используя эти свойства, растительный покров можно отличить от других видов подстилающей поверхности. Растительность кажется темной в голубой и особенно красной зонах, несколько светлее в зеленой зоне и наиболее светлой в ближневолновом ИК-диапазоне (максимум в зонах 6 и 7 мультиспектрального сканера Landsat/Multispectral Scanner, в зоне 4 тематического картографа Landsat/TM и в зоне 3 сканера ИСЗ SPOT).

Комбинация многих факторов обуславливает различия в спектральных значениях для зерновых и пропашных культур, разных зерновых культур в одинаковых стадиях роста. В общем можно определить спектры для каждой культуры в районе по репрезентативным образцам за определенное время.

По многоспектральным космическим изображениям можно устанавливать различные виды вегетационных индексов, использующихся для характеристики растительности. С целью их правильной интерпретации необходимо иметь регулярно обновляемую базу данных по сельскохозяйственным предприятиям области (рис. 1).

Денситометрические измерения негативов с панхроматических аэрофильмов показали тесную связь между плотностью изображения травянистой растительности и фитомассой, особенно в оранжево-красной части спектра (590—680 нм).

Дополнительным признаком дешифрирования травянистой растительности, в частности, агроценозов, служит архитектура покрова, которая обусловлена характером ветвления и листорасположения растений, ярусностью и мозаичностью сообществ. С архитектурой связан важный параметр растительности — листовой индекс (Leaf Area Index, LAI), зависящий от нормализованного вегетационного индекса и определяемый как отношение одной части общей площади листы к общей площади, занятой

растительностью. Если поместить весь лиственный покров растений на грунт, то полученная площадь покрытия будет превышать общую площадь, занятую растительностью. Соотношение этих величин, т.е. значение LAI, обычно больше 1, но меньше 10. Значение LAI зависит от формы листа и его размера, расположения листьев, числа побегов и прочих факторов. Этот индекс достаточно широко применяется на практике, так как он связан с общей биомассой, измеряемой обычно в тоннах на гектар.

На характер дистанционного изображения помимо самой растительности влияют и другие факторы: почвенный покров при малом проективном покрытии растительной массой, характер первичной подготовки угодья, тип обработки поля на разных фенологических фазах.

Изображение почвенного покрова, лишенного растительности, формируется в соответствии со спектральной характеристикой типа почв, степенью увлажнения, пространственной структурой почвенного покрова, включений щебня и обломков кристаллических и осадочных пород, типом обработки полей. Спектральная характеристика типов почв определяется содержанием гумуса в их верхнем горизонте и его мощностью, окраской почвообразующих пород, влажностью.

Из указанных в базе параметров наиболее трудно определить влажность почвы методами дистанционного зондирования. Косвенная информация о неоднородности распределения влаги в верхнем слое почвы может быть получена в течение короткого весеннего периода по спутниковым изображениям видимого диапазона, в течение всего периода развития растений — в результате обработки радиолокационных данных высокого разрешения благодаря высокой чувствительности этого вида съемки к выявлению увлажненных объектов.

Задачи, решаемые с помощью дистанционных методов. Исходя из приведенных общих оснований и опытных работ, определился круг задач сельского хозяйства нечерноземной зоны Северо-Запада Российской Федерации, которые могут решаться с помощью дистанционных методов:

- картографирование типов землепользования;
- картографирование почвенного покрова (по прямым признакам и индикаторам);
- выбор площадей, пригодных для нового сельскохозяйственного освоения;
- рекомендации по мероприятиям рационального освоения новых площадей под определенные культуры;
- мониторинг состояния сельскохозяйственных культур.

Учитывая характеристики космических систем, в первую очередь, разрешение на местности и стоимость изображений, сельскохозяйственные угодья Ленинградской области были проанализированы по изображениям системы Landsat TM (разрешение 30 м) и индийской системы IRS/LISS (разрешение 23 м).

Экспериментальные работы. Полевые работы выполнялись в Ленинградской области на базе хозяйств АОЗТ «Гомонтово» и Рождествено.

Участок АОЗТ «Гомонтово» расположен на Ижорской возвышенности, в пределах Ижорского ландшафта. Возвышенность характеризуется абсолютными отметками порядка 150—155 м. Коренные породы — известняки, доломитизированные известняки, доломиты, перекрыты маломощной мореной (0,5—3,5 м), местами коренные породы обнажаются. Район карстовый. Особенно ярко молодой карст проявляется в районе Гостилицы—Заостровье—Лопухинка (примерно в 10 км к северу от опытных полей).

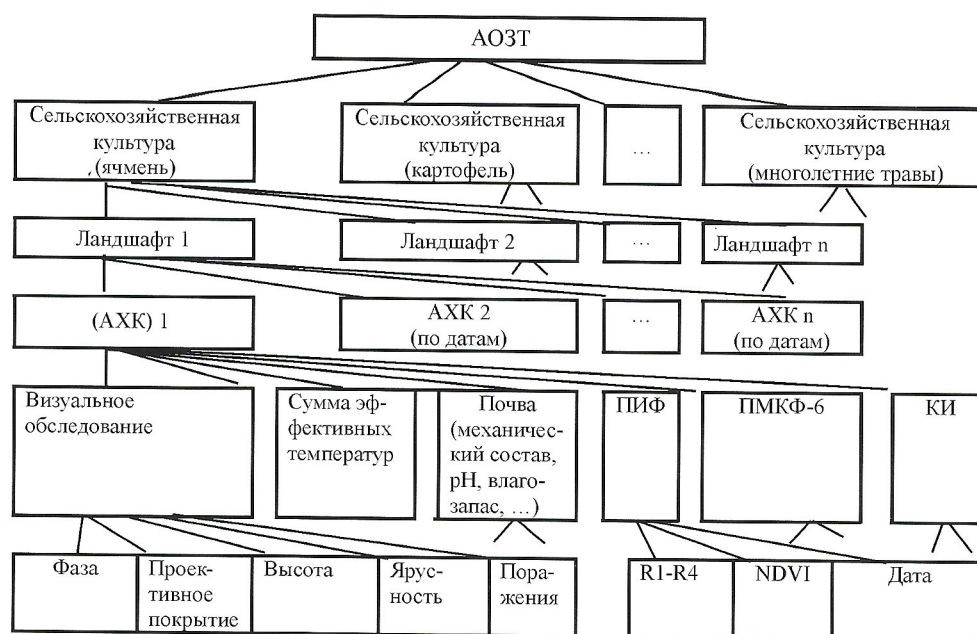


Рис. 1. Структура базы данных хозяйства

Почвы дерново-подзолистые остаточного карбонатного и литогенного дерново-карбонатного, преимущественно окультуренные. Сельскохозяйственная освоенность очень высокая. Характерно проявление плоскостного смыва и линейной эрозии. Коренная растительность представлена южно-таежными ельниками, которые почти полностью уничтожены.

Участок Рождествено Гатчинского района приурочен к верхней части бассейна р.Оредежа и относится к Оредежскому ландшафту. Коренные породы древней девонской низины представлены красноцветными песками с прослоями глины лужского горизонта среднего девона. Это заболоченная равнина с абсолютными отметками 105—110 м.

Ее пересекают многочисленные небольшие реки и ручьи бассейнов р.Оредежа (Копанка, Иленка, Дивенка, Мельничная, Холодянка и др.) и р.Луга (Ящера, Веряжка, Лаковенка и др.), связанных с сетью старых мелиоративных каналов. Наблюдается значительная заболоченность междуречья — преобладают заболоченные леса, болота. На более дренированных участках коренные леса были представлены ельниками, неморально-травными с широколиственными породами в подлеске (клен, дуб). Производные леса — мелколиственные с осинкой, березой, серой ольхой.

Для наблюдения были выбраны поля ячменя, картофеля, сеянных многолетних трав.

Космические изображения поля ячменя (Рождествено) в различных фенологических фазах представлены на рис. 2 (см. вставку в середине журнала), а его наземные изображения — рис. 3 (см. вставку в середине журнала).

В пределах представительных для поля участков выбирались 4—5 площадок, ограниченных круглой рамкой диаметром 0,9 м (площадь 0,64 м²). Местоположение стандартных площадок полевых измерений фиксировалось с помощью приемников GPS. Описание площадок проводилось многократно, в разные фенологические фазы развития растений. При каждом посещении давались характеристики общего состояния агроценоза: равномерность развития растительного покрова, средняя высота и проективное покрытие, аспект, фаза развития. Кроме того, с высоты 2 м проводилась плановая съемка. Для оценки текущей

цветовой характеристики растительности в поле съемки помещались цветные эталоны систем RGB и CMYK, стандартных для персональных компьютеров. Здесь же определялось проективное покрытие, высота растений, облиственность, длина листовых пластинок (для злаков), окраска листьев, состояние генеративных побегов, фаза развития культуры, наличие повреждений от насекомых и болезней, присутствие сорных видов.

На каждой площадке проводились спектрометрические измерения отражательной способности растений полевым фотометром ПИФ. Для измерений выбирались 10—15 растений.

Измеряемыми величинами в 4-х каналах спектрофотометра являлись коэффициенты отражения. Данные измерений нормировались на фотометрический стандарт (источник А [2]), диапазон изменения величин 0—1,0. Предельная относительная погрешность измерений 2%. Прибор градуировался непосредственно в ходе измерений по «черному» эталону и специальным мерам отражения, входящим в комплект прибора.

Основные поглотители света в первом диапазоне (0,38—0,63 мкм) — пигменты листа (хлорофилл и каротиноиды); во втором — (0,63—0,80 мкм) — хлорофилл на «красной границе» поглощения; в третьем — (0,8—1,0 мкм) — ткани и клеточные структуры; в четвертом — (1,0—1,75 мкм) — вода в тканях листа.

Главное достоинство прибора — определение параметров витальности растений независимо от состояния погоды и условий освещения, что очень существенно при применении в средних широтах. Проведение его дополнительной специальной градуировки (хлорофилл, вода, NPK элементы, основные элементы загрязнители) дает возможность использовать ПИФ в качестве полевого фитомонитора. Для этого необходима его метрологическая аттестация в этом качестве.

На рис. 4 приведены зависимости степени отражения света от длины волны для здорового листа (1) и спектр поглощения листом воды (2); а так же интервалы изменчивости коэффициентов отражения ячменя на тестовых участках в Рождествено и Гомонтово, измеренные в каналах R1-R4

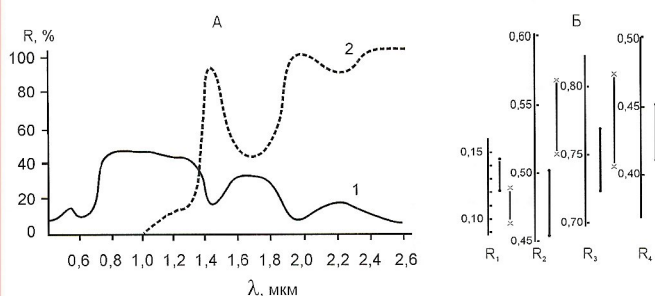


Рис. 4. Зависимости коэффициента отражения света от длины волны:

А — для здорового листа (1), спектр поглощения листом воды (2); Б — интервалы изменчивости коэффициентов отражения ячменя в каналах ПИФ R1—R4 на тестовых участках в Рождественно (кресты) и Гомонтово (точки)

ПИФ 15 июля 2003 г. При определении вегетационного индекса по полевым измерениям использовались каналы 1 и 3 (рис. 5).

Методика обработки космических изображений. При обработке космических изображений сельскохозяйственных культур на первом этапе осуществляется геометрическая привязка космического изображения к карте и трансформирование его в картографическую проекцию, в которой хранятся планы земель. Технология привязки карты и последующей привязки к ней изображений подробно изложена в описаниях, прилагаемых к используемым программным средствам. Смысл привязки — присваивание опорным точкам изображения географических координат. Задача трансформирования в картографическую проекцию — решение системы уравнений невязки с целью минимизации суммарной ошибки отклонения текущих координат от координат опорных точек.

Например, в программной системе ERDAS Image используется проекция Transverse Mercator, Pulkovo 42, Krasovsky (при необходимости, возможно применение другой проекции, например, WGS84). Получаемая ошибка трансформации не должна превышать заданную величину, которая зависит от используемого масштаба плана полей. Координаты

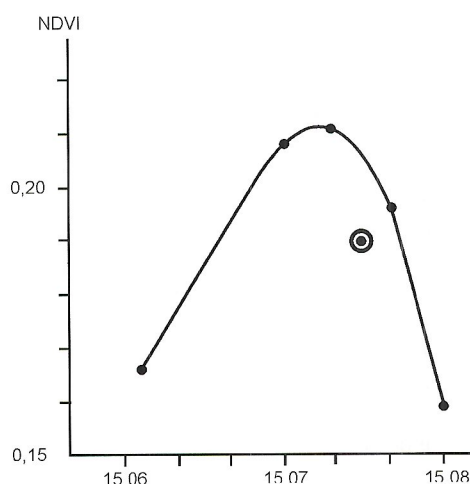


Рис. 5. Изменение вегетационного индекса NDVI ячменя в Рождественно, определенного по полевым измерениям ПИФ, и космическим изображениям (кружок)

полевых измерений GPS, полученные в системе WGS84, также пересчитываются в координаты принятой проекции. Кроме того, в случае необходимости предварительно производится радиометрическая коррекция. Принимаемые изображения предоставляются в ложных цветах в системе RGB (при трех каналах, как в системе IRS/LISS).

На следующем этапе обработки материалов многоспектральной съемки для исследования растительности выполняется процедура построения вегетационных индексов — для Landsat TM 4, 5 и 7 каналы, IRS/LISS — 1, 2 и 3 каналы.

С целью расчета вегетационного индекса в системе ERDAS, как и в ряде других систем, например IDRISI, имеется специальная процедура.

Для надежной оценки состояния и прогноза развития растений необходимы многолетние комплексные наблюдения на полевом и дистанционном уровне, систематизируемые в базе данных.

В заключение следует отметить, что полученные к настоящему времени результаты анализа космических изображений и полевых наблюдений на тестовых участках позволили:

- определить наиболее информативные каналы КС;
- установить коэффициенты, связывающие количественно спутниковые и полевые данные;
- сформулировать требования к усовершенствованию полевой спектрометрической аппаратуре для повышения информативности и точности полевых измерений основных агрофизических характеристик сельскохозяйственных культур;
- предложить следующие рекомендации по организации экспериментального спутникового мониторинга сельскохозяйственных объектов: 1) наибольшую эффективность мониторинга сельскохозяйственных культур на основе анализа спутниковых изображений можно обеспечить при наличии собственной приемной станции или выделенного канала для приема текущей информации; 2) для обеспечения надежности получения регулярных данных следует заблаговременно заказывать изображения с двух и более разных спутниковых систем наблюдения на основе принципа резервирования, при этом даты съемки должны быть сдвинуты относительно друг друга на 7—10 дней; 3) Ленинградская область находится в районе, где часто наблюдается облачность, поэтому помимо многоспектральных изображений видимого и теплового диапазонов следует использовать и радиолокационные изображения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березкина Л.И., Леонтьева Е.В., Попова Т.А., Семенова Н.Н. Использование материалов дистанционных съемок для оценки современного состояния почвенного покрова Ленинградской области с целью охраны и рационального использования // Бюллетень почвенного института им. В.Докучаева. — Л., 1986. С. 38.
2. Гуревич М.М. Фотометрия. Теория, методы и приборы. — М.: Энергоатомиздат, 1983.
3. Мелуа А.И. Природоохранные исследования с использованием космических средств / Под ред. К.Я.Кондратьева // Итоги науки и техники. Серия: Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов. Т. 21. — М., 1988.
4. Попова Т.А., Леонтьева Е.В. и др. Изучение динамики природной среды на основе материалов дистанционных съемок // Информационный сборник «Геоэкологические исследования и охрана недр». № 1. — М.: Геогеоинформмарк, 1995.
5. Remote Sensing. The Quantitative Approach. P.H.Swain and S.M.Davis (editors). — McGraw-Hill, 1978. Перевод на русский язык: Дистанционное зондирование. Количественный подход. — М.: Недра, 1983.

Дистанционное зондирование водорослевого покрова Белого моря

М.А.ШУБИНА, Е.И.КИЛЬДЮШЕВСКИЙ, Л.Л.СУХАЧЕВА (ГУП НИИКАМ), В.И.ЧЕРНООК (ПИНРО)

С каждым годом во всем мире увеличивается потребление морепродуктов, в т.ч. морских водорослей. Известны также примеры применения морских водорослей в парфюмерии и медицине. Особенно это касается бурых водорослей, прежде всего ламинарии и фукусов. В фукусе содержатся жирные кислоты, полисахариды, витамины, минеральные микро- и макроэлементы, хлорофилл.

Наша страна обладает значительными запасами водорослей. Еще с 80-х годов XX в. на Белом море сотрудниками ПИНРО и ВНИИКАМ (в настоящее время ГУП НИИКАМ) проводились работы по созданию методики использования материалов специализированной аэрофотосъемки для выявления и определения запасов промышленно важных видов морских водорослей. В основном исследовались ареалы ламинарии.

В 1980—1984 гг. была проведена аэрофотосъемка большей части побережья Белого моря и Кольского побережья Баренцева моря. В результате были получены изображения морского дна Баренцева моря с полями ламинарии до 15 м глубины, а Белого моря в водах с меньшей прозрачностью — до глубин 5—10 м. Эти изображения позволили выделить площади зарослей водорослей, установить их точное местоположение, проективное покрытие и определить запасы водорослей по данным полевых замеров биомассы.

Повторная аэрофотосъемка дает возможность отслеживать динамику водорослевого покрова, осуществлять эффективный контроль за промышленной эксплуатацией водорослевых полей и может служить основой для долгосрочного промыслового прогнозирования и проведения природоохранных мероприятий.

При крупномасштабном картировании морских мелководий с использованием АФС в качестве комплексных дешифровочных признаков используются морфологические комплексы, относимые в ландшафтных исследованиях к рангу урочищ [2], т.е. комплексы, связанные с однородными по происхождению мезоформами рельефа, сложенные одним типом современных рыхлых осадков или древних коренных пород и населенные особыми жизненными формами донных организмов, образующих специфические биоценозы.

Подводные урочища характеризуются устойчивостью в пределах одного ландшафта и даже разных ландшафтов. Поскольку на МДЗ они имеют типичное для каждого комплекса изображение, то это позволяет связать опознанные ландшафтные выделы с теми или иными характеристиками геологического строения.

При анализе материалов полевых наблюдений на Соловецких островах была отмечена четкая зависимость густоты водорослевого покрова (ламинария) от состава морских грунтов: чем больше в грунтах содержание валунно-галечной фракции, тем гуще водорослевый покров. Поэтому схема дешифрирования водорослевого покрова (ландшафтная схема), составленная здесь по результатам камерального дешифрирования АФС морского дна, закономерно трансформируется в карту состава рыхлых отложений [1].

По результатам исследований, проведенных в 1980 г., была разработана крупномасштабная промысловая карта распределения водорослевых полей Белого моря, а выявленные геолого-геоморфологические особенности позволили определить участки прибрежного мелководья, при-

годные для размещения марихозяйств. Основной недостаток разработанного метода — необходимость полевого определения биомассы.

С развитием новых технологий дистанционного зондирования появились новые возможности исследования водорослевых покровов.

Опыт применения космических снимков для изучения и картирования водорослевых полей показывает, что успех их использования обеспечивается, прежде всего, разрешающей способностью изображений r . В литературе приводятся примеры применения для этой цели изображений SPOT ($r=10$ м), TM Landsat ($r=20$ м). Разрешение отечественной системы КФА составляет около 5 м.

В настоящее время наиболее точный прогноз промышленной добычи по-прежнему обеспечивается на основе использования аэрофотосъемки.

Анализ ряда публикаций, посвященных использованию многоспектральных МДЗ для дифференциации водорослевого покрова, показывает, что этот вопрос на сегодня недостаточно изучен. Приводимые в цитируемых работах, спектральные характеристики различных видов водной растительности межприливных зон, измеренные как с самолетных носителей, так и в полевых или лабораторных условиях, существенно отличаются между собой, хотя общие черты и интегральные особенности сопоставимы. Это, по-видимому, объясняется тем, что измерения проводились разными приборами в различных физико-географических зонах и, как правило, в недостаточно контролируемых условиях (типа описания физического и биологического состояния водорослей, степени их осыхания и т.п.).

Трудности, связанные с распознаванием видового состава водорослей по спутниковым изображениям, обусловленные слабой изученностью их коэффициентов спектральной яркости в зависимости от маскирующего влияния воды, требуют дополнительных исследований с применением современных гиперспектральных методов.

В работе [6] представлен пример исследования топографических характеристик прибрежной зоны с использованием данных самолетного дистанционного зондирования. Проведенные исследования ориентированы на картирование водорослевого покрытия в межприливных зонах. Наибольший интерес представляют следующие виды водорослей: *Ascophyllum*+*Fucus* Vis., *Fucus* cer. и *Laminaria* sp.

При разработке методов вероятностного прогноза водорослевого покрытия в межприливных зонах необходимо учитывать факторы, влияющие на распределение видов водорослей: тип субстрата, изменчивость высотных отметок территории (частота «затопления» ареалов произрастания), уклон и ориентация литорали, кроме того, полезно построение трехмерной модели межприливной зоны. Для ее создания использовались два различных метода — фотограмметрический (на основе данных оптического диапазона) и лидарный. В целом, необходимая точность в 30—40 см может быть обеспечена как первым, так и вторым методом при всех, встречающихся в исследуемой межприливной зоне, условиях произрастания водорослей. Однако для достижения такой точности при использовании фотограмметрических методов необходимо наличие достаточно качественных

полевых наблюдений, включая данные о текстуре поверхности. Лидарные изображения обеспечивают такую точность при любых условиях, а для сравнительно гладких поверхностей точность лидара составляет 10–15 см [5].

Сравнительный анализ материалов полевых исследований, включающих карты ареалов распространения типов водорослей, с результатами топографического картирования по данным дистанционного зондирования (фотограмметрический и лидарный методы), позволил авторам заключить, что оба используемых метода пригодны для проведения дифференциации основных типов водорослевого покрытия в исследуемом регионе.

Отмечено, что при идентификации зон смешанного произрастания разных видов водорослей со смешанным, песчаным или валунно-галечным субстратом, возникают значительные трудности.

Распространение водорослевого покрытия может быть предсказано [7]. Для этой цели наряду с характеристиками грунта используется распределение пространственно-временных характеристик грунта и шероховатости поверхности в приливно-отливных зонах района Westerschelde. Применялись радиолокационные изображения ASAR Envisat. Разработка методов дешифрирования и интерпретации данных ASAR проводилась с использованием дополнительной информации: лоатора бокового обзора звукового диапазона (сонара), мультиспектральных изображений ИСЗ Landsat, гиперспектральных данных дистанционного зондирования EPS-A/CASI и большого объема полевых наблюдений. Кроме того, брались архивные спутниковые изображения ERS-1/2 SAR и соответствующие им данные натурных наблюдений.

В процессе выполнения исследований эстуариев тихоокеанского побережья были отмечены две сложные проблемы [3]: 1) точной привязки МДЗ и 2) связанная с возможностью разделения типов изучаемых растительных сообществ по данным дистанционного зондирования. Например, в заливе Tillamook, Орегон, для картирования морской травы (зостеры) использовались изображения MSS с пространственным разрешением 1 м. Несмотря на то, что для исследований применялись особо точные карты, спектральные характеристики сенсора MSS не позволяли дифференцировать различные виды произрастающих совместно морской травы и морских водорослей.

Результаты дистанционных исследований водорослевого покрова северо-западного побережья Тихого океана, проведенных в сентябре 1994 г., представлены в работе [6]. Виды водорослей, встречающиеся в этом районе, были исследованы с использованием мультиспектрального самолётного радиометра CASI (12 каналов, спектральное разрешение 2,8 нм, диапазон 403–914 нм). Кроме того, брались лабораторные измерения спектральных характеристик образцов *Ulva* и *Fucus*, полученные ранее в марте 1994 г. по материалам полевых наблюдений. Лабораторные измерения проводились также с помощью радиометра CASI. Авторы отмечают, что спектральные характеристики водорослей в ближнем ИК диапазоне изменяются в зависимости от структуры клеток, плотности покрова и морфологии, соотношения живой и мертвой биомассы водорослей. Кроме того, поскольку в межприливных зонах редко встречаются достаточно большие участки (пятна) отдельных видов водорослей, на регистрируемые с самолета спектральные характеристики влияют как другие виды водорослей, так и субстрат. По материалам МДЗ была составлена карта распределения водорослевого покрова. Атмосферная коррекция данных не проводилась.

Водоросли на восточном побережье Северной Атлантики (районы Cos Louth, Dublin, Wicklow и north Co. Wexford) распространены до глубин максимум 8 м, в то время как в более прозрачных водах северо-западных, западных и юго-западных побережий они могут встречаться до 25 м, в исключительных случаях до 32 м.

Основная биомасса фукусов, сосредоточена в межприливной зоне и обеспечивается пятью разновидностями фукусов. Характерный для Северной Атлантики *Ascophyllum nodosum* — наиболее промышленно важный вид региона. В Ирландии этот вид фукусов произрастает непосредственно вокруг побережья, главные ресурсы его найдены на юго-западе, западе и северо-западе. В целом, по предварительным оценкам ресурсы бурых морских водорослей в исследуемом регионе составляют несколько миллионов тонн. Однако следует отметить, что их эксплуатацию необходимо планировать таким образом, чтобы не вызвать дестабилизации других морских ресурсов.

Пример использования гиперспектральных материалов дистанционного зондирования для дифференциации и картирования растительных сообществ межприливных зон и растительности болот в районе Hood Canal, штат Вашингтон, приведен в работе [4]. Использовался авиационный спектрометр CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager) — 21 канал с узкими спектральными зонами 10–30 нм, пространственное разрешение 1,5 м.

Спектрометрическое фотографирование или гиперспектральное сканирование позволяют получать спектральные изображения растительных сообществ во многих узких соприкасающихся спектральных каналах видимого, ближнего и среднего ИК-диапазонов электромагнитного спектра.

Мониторинг качества вод и состояния прибрежной зоны проводится с использованием однотипных методов 60-х годов. Одной из задач мониторинга было составление карты и классификация подводной растительности.

Характеристика подводной растительности проводилась по видовому составу и вегетационному состоянию водорослей. В целом были идентифицированы 35 классов, в пределах исследуемой области — четыре различные зоны. Одним из важных результатов наблюдений был вывод о том, что *Fucus vesiculosus* может существовать (выживать) и на слабо загрязненных или нарушенных участках. Эти участки можно отличить от «чистых» участков, по анализу вегетационного состояния фукусов и сопутствующей им растительности.

Исследования Белого моря проводились в 2002–2003 гг. с учетом двух факторов: низкой воды и высокого стояния солнца. Аэросъемка осуществлялась цифровой камерой Nikon DIX. Цифровая форма представления обеспечивает удобный ввод и обработку информации на компьютере. Высокая разрешающая способность позволяет многократное увеличение изображений. Привязка изображений к системе координат СК-42 производилась с использованием программной системы ERDAS Imagine. Съемка 2003 г. сопровождалась полевыми наблюдениями.

По материалам полевых наблюдений строение осушки одинаково на всех исследованных участках, поэтому в обобщенном виде оно выглядит следующим образом*.

* Наблюдения обычно проводились, начиная от их мористого конца примерно в момент полного отлива. Поскольку это были не сизигийные отливы, то мористый край нижней литорали в момент описания был обычно под водой.

Нижняя литораль — полоса между линиями обычного и сизигийного отлива — обычно сложена валунными, валунно-галечными грунтами с густым покровом фукусов. Валуны размером 0,3—0,6 м, часто до 1 м. Иногда среди них встречаются «проплешины» галечного или песчаного грунта. На валунных грунтах наиболее густой покров водорослей, песчаных — водоросли отсутствуют. Среди водорослей преобладают фукус весикулосус (*fucus vesiculosus*) и фукус аскофиллум нодосум (*fucus ascophyllum nodosum*). Масса пробы в рамке 1×1 м на Соловецких островах обычно 5—7 кг, средняя по отобраным здесь пробам 6,4 кг. В Кандалакшском заливе масса пробы 10—20 кг, средняя — 16,0 кг. Ширина полосы с густым покровом фукусов обычно 10—20 м, а проективное покрытие 60—80%. Как правило, полоса сплошного подводного покрова фукусов продолжается в сторону моря еще на ~10 м, что фиксируется по плавающим на поверхности верхушкам водорослей, после чего начинается зона чистой воды (по наблюдению с осушки). Очевидно, этот край поля водорослей фиксирует линию сизигийных отливов, т.е. внешний край нижней литорали.

Средняя литораль — полоса между линиями обычного прилива и отлива — характеризуется значительно менее развитым водорослевым покровом, т.к. находится под водой меньше времени, чем нижняя литораль. Кроме того, состав грунтов в этой зоне также иной. Здесь преобладают валунно- и галечно-песчаные грунты. Участки песчаного грунта расположены или в виде «пропелшин» среди валунного грунта, или представляют собой основной фон, на котором разбросаны пятна валунных и галечных грунтов. Фукусы образуют пятна, приуроченные к валунно-галечным участкам или к отдельным валунам. Иногда валунная осушка лишена покрова водорослей. Проективное покрытие в пределах такой зоны на Соловецких островах обычно составляет 10—30%. Биомасса в пробах 1—3 кг. Почти все это количество представлено фукусом весикулосусом. В Кандалакшском заливе характер берегов существенно другой. Здесь литораль гораздо уже и круче. Поэтому средняя литораль практически не выражена.

Верхняя литораль — полоса между линиями обычного и сизигийного прилива — лишена водорослевого покрова и, следовательно, интереса не представляет. Особенность этой части осушки — отсутствие водорослей (изредка встречаются мелкие угнетенные кустики фукусов) и наличие галофитов. Для данной зоны характерно наличие в ее верхней части «валов» из выброшенных волнами водорослей. Они в основном формируются на участках со значительным водорослевым покровом на нижней литорали. Грунты более обогащены валунным и галечным материалом, чем на средней литорали. Пляж и уступ низкой террасы часто четко не выражены. Здесь также встречаются выбросы уже сухих водорослей черного цвета и кустики галофитов.

Таким образом, из сказанного ясно, что основное промысловое значение имеет нижняя литораль, где сосредоточены главные запасы фукусов. Небольшое количество фукусов может быть добыто в зоне средней литорали. Поскольку грунты в этих зонах преимущественно валунные, часто крупновалунные, то добыча водорослей здесь возможна только ручным способом.

В пределах Белого моря литораль и сублитораль до изобаты 1 м можно считать зоной исключительного развития фукусов. Ламинария здесь практически везде отсутствует.

Спутники (в основном бурые нитчатые) также представлены в незначительном количестве.

В большинстве же районов с глубины около 1,5 м начинается пояс смешанных зарослей фукусов и ламинарии. При этом по данным полевых работ 2003 г. большую часть общей биомассы в данной зоне уже составляет ламинария (фукусы около 20%, ламинария около 80%, спутники в незначительных количествах). Это результаты по Соловецким островам, где пояс смешанного произрастания фукусов и ламинарии наиболее четко выражен. Следует отметить, что ширина смешанного пояса, судя по данным работ 2003 г., в разных районах различна.

Сравнение материалов полевых исследований, полученных в 1980 и 2003 гг. показывает, что картина строения водорослевого покрова в зоне литорали и сублиторали очень сходна на различных участках побережья Белого моря и общий характер строения водорослевого покрова за период в 23 года не изменился (рис. 1, см. вставку в середине журнала). На основании рассмотренных материалов Белого моря, можно составить следующую обобщенную картину распространения фукусов в зонах: 1) литорали развиты чаще всего только фукусы; 2) сублиторали наблюдается пояс интенсивного развития фукусов до глубин около 2 м; 3) глубин 1,5—3,5 м располагается пояс смешанного водорослевого покрова — фукусы и ламинария (часто с примесью других водорослей: анфельции, одонтопии, бурых нитчатых и др.); 4) глубин 3—5 м прослеживается основной пояс развития ламинарии; интенсивный водорослевый покров фиксируется местами до глубин 7—8 м; на глубине около 10 м повсеместно отмечены лишь отдельные экземпляры ламинарии.

При анализе материалов аэросъемки необходимо было учитывать факторы, влияющие на вариацию яркости изображения последовательных кадров при съемке водных объектов, характеризующихся низкими значениями яркостей излучения. В общем случае природные объекты не являются диффузными отражателями и их изображение на АФС существенно зависит от угла визирования.

Радиометрические яркости сильно изменяются даже в пределах одного и того же изображения от его центра к краям. При проведении АФС вариации значений экспонирования в фокальной плоскости обусловлены изменением расстояний каждой точки изображения от его центра, освещенность падает от центра к краям. Это приводит к тому, что даже однородные (на уровне земной поверхности) природные объекты на АФС могут существенно отличаться.

Для определения областей распространения водорослей по материалам АФС применялись методы автоматической классификации. Автоматическая классификация большой площади побережья с использованием мозаики АФС оказалась трудноосуществимой. Опыты показали, что для получения корректных результатов кластерного анализа мозаики изображений АФС необходима соответствующая коррекция каждого отдельного изображения. Поэтому при классификации маскировались различные зоны побережья: обработка изображения литорали и сублиторали выполнялась отдельно. Примеры классификации изображения литорали (слева) и сублиторали (справа) на 10 и 12 основных классов, соответственно, приведены на рис. 2 (см. вставку в середине журнала; съемка 2002 г., район восточной Муксалмы).

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Исследования водорослей с использованием современной цифровой аэросъемки проводятся достаточно широко (США, Канада, Франция, Финляндия) с целью выявления спектральных характеристик водорослей разных видов (в т.ч. фукусов), выделения их ареалов по аэроснимкам. При этом, несмотря на значительные ассигнования и полное обеспечение соответствующей современной техникой, зарубежные исследователи отмечают те же трудности, с которыми столкнулись и мы: трудности с привязкой точек, сильная нивелировка водной толщей спектральных характеристик, проблемы с радиометрической коррекцией мозаик снимков.

2. Точность оконтуривания водорослевых полей и определения их запасов в значительной степени зависит от качества материалов аэрофотосъемки. В связи с этим аэро-съемочные работы необходимо проводить в оптимальных погодных условиях, в оптимальные сроки, в период малой воды. Наилучшие результаты по оконтуриванию полей водорослей и последующему определению их запасов получены по крупномасштабным снимкам, снятым с высоты 670 м. Обзорные, более мелкомасштабные снимки (высота съемки 2500—3000 м) дают менее четкое изображение верхней зоны сублиторали, где сосредоточены значительные запасы фукусов. Эти снимки целесообразно использовать для точной привязки к местности детальных снимков и рекогносцировочных исследований.

3. Поскольку водная толща сильно нивелирует различия в спектральной яркости разных видов водорослей, выделить по этому признаку на АФС водоросли разных видов в пределах сублиторали представляется затруднительным. Здесь можно достаточно точно определить лишь положение и площадь участков морского дна, покрытых водорослями, что представляет основную сложность при точечно-профильных морских исследованиях. Поэтому установить площади, занятые на сублиторали фукусами, предлагается, используя глубинную поясность, которая вырисовывается достаточно отчетливо и более или менее постоянна для разных районов Белого моря.

4. Для получения корректных результатов классификации, как правило, необходимо провести предварительное маскирование «мешающих» объектов или даже разделение исследуемого участка прибрежной зоны на отдельные подзоны (например, верхняя литораль, нижняя литораль, сублитораль, пояса разных глубин).

5. Зоны с различным проективным покрытием фукусов представляется возможным выделить на классифициро-

ванных изображениях литорали и сублиторали в интерактивном режиме.

6. Поля фукусов на литорали отличаются по характерному цвету от участков без водорослевого покрова (голые валуны, «проплешины» чистого песчаного, валунного, галечного дна). Далее при подсчете запасов определенная компьютером площадь классов, покрытая фукусами, умножалась на среднюю биомассу, установленную нами по полевым замерам в рамке 1×1 м.

7. При использовании разработанной методики на некоторых тестовых участках обнаружились существенные расхождения, вызванные ее несовершенством, поэтому необходимо дальнейшее усовершенствование методики интерактивной классификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычкова И.А., Викторов С.В., Кильдюшевский Е.И., Сухачева Л.Л.. Использование материалов дистанционного зондирования при изучении морских побережий и акваторий / Аэрокосмические методы геологических исследований. — С-Пб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000.
2. Петров К.М. Биogeография океана. Биологическая структура океана глазами географа. — С-Пб., 1999.
3. Garano Ralph, Gaston Greg and Heyman Ofer. Remote Sensing Systems for identifying and Mapping Aquatic Vegetation in Estuaries and Other Near-shore Environment Along the Pacific Coast / Final Report. NASA Earth Science Enterprise. Commercial Remote Sensing program. Affiliated Research Center. Oregon State University, 1999 (from Internet).
4. Larsen Peter Foster and Erickson Cynthia B. Intertidal Habitat Definition and Mapping in Penobscot Bay. Bigelow Laboratory, 1997 (from Internet).
5. MacLeod W., Aitken J., Borstad G., Borstad G. A. Intertidal habitat mapping in British Columbia using an airborne imaging spectrometer. Proceedings of the Third Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments. 18—20 September 1995, Seattle, Washington, USA. 1995. Vol. 1. P. 687—691.
6. Populus Jacques, Laurentin Astrid, Rollet Claire, Bonnot-Courtois Chantal, Guillaumont Brigitte. Surveying coastal zone topography with airborne remote sensing: Elements of strategy. Book of Abstracts presented on the EARSeL Workshop «SIG Remote Sensing of the Coastal Zone», 5—7 June 2003, Ghent, Belgium. P. 51.
7. Van der Wal Daphne, P.M.J. Herman & J.C. Kromkamp V.R.M. van Lancker. Satellite radar remote sensing of inter tidal flats for mapping, monitoring and prediction of benthic macrofauna Book of Abstracts presented on the 23rd EARSeL Workshop «SIG Remote Sensing of the Coastal Zone», 5—7 June 2003, Ghent, Belgium. P. 71.

Спутниковый мониторинг портовых комплексов Финского залива

И.А.БЫЧКОВА, С.В.ВИКТОРОВ

Уроки аварии танкера «Престиж». В конце ноября 2002 г. — начале 2003 г. внимание морского транспортного сообщества всего мира, правительств и экологов было приковано к событиям, разворачивавшимся в восточной части Атлантического океана у берегов Испании в связи с аварией танкера «Престиж» (Prestige). Трагедия произошла в условиях сильного шторма. 13 ноября 2002 г. в точке с координатами 43°07' с.ш., 9°22' з.д., в 50 км от берега, в районе, который местные рыбаки называют «берегом смерти» «Costa da Morte» (рис. 1, см. вставку в середине журнала) потерпел аварию танкер «Престиж» либерийской компании «Mare Shipping Inc.», шедший под багамским флагом. Танкер находился в управлении компании Universe Maritime Ltd., of Greece и направлялся с грузом 77 тыс.т мазута из Латвии в Гибралтар и далее в Сингапур. По сообщению членов экипажа танкер (с одним дном, постройки 1976 г.) получил пробоину от какого-то подводного предмета, предположительно контейнера. Из танков в море стала поступать нефть. Уже 14 ноября наблюдали слик 32 км, образовавшийся вокруг судна. Испанские власти сообщили 16 ноября, что нефтяное загрязнение начинает достигать побережья Галисии, и более 1500 т нефти уже вылилось из танкера.

На побережье были выставлены плавучие заграждения. Тревожные сообщения стали поступать от экологов. Район Costa da Morte — важный рыбопромысловый район Испании, здесь находится уникальная береговая линия, включая дюны, береговые пустоши с вереском; представлены 13 типов экосистем, находящихся под охраной европейского законодательства. В этом районе гнездятся редкие птицы, в частности, например, испанский подвид кайры, насчитывающий всего 12 гнездовых пар. В то же время, по сообщению испанского новостного сайта *CDNN Eco News*, в авторитетных кругах было заявлено, что Испания располагает лучшей в Европе инфраструктурой для борьбы с последствиями нефтяных разливов. Так, в стране имеются три корабля береговой охраны, способные работать в самых сложных погодных условиях, при 6-метровых волнах и сильных осадках.

Правительство Испании приняло решение о буксировке танкера на юг в сторону открытого океана, где, как полагали, легче будет бороться с нефтяным загрязнением и не будет опасности, что аварийное судно разобьется о прибрежные скалы. Команда спасателей боролась 6 суток за живучесть судна, но утром 19 ноября танкер разломился на две части и затонул в 75 милях от северо-западного побережья Испании на глубине 3000 м в точке с координатами 42°10' с.ш., 12° 03' з.д.

Плохая погода в районе аварии затрудняла усилия по сбору вылившейся в море нефти, сама операция по сбору нефти в море была начата 18 ноября, а 23 ноября был обнаружен второй крупный слик, образовавшийся в районе аварии. В работах по сборке нефти к этому времени уже участвовали 23 судна из Испании и других государств — членов ЕЭС, координировал эти работы французский самолет. Основное нефтяное пятно 24 ноября находилось в 60 морских милях от места гибели судна, пятно дрейфовало в северо-восточном направлении. Общее количество нефти, вылившейся в

море, по оценкам, основанным на измерениях толщины пленки с судов, составляло около 5 тыс.т. Вертолет Международной федерации владельцев танкеров по вопросам загрязнения (ITOPF) 25 ноября пролетел над районом аварии северо-восточнее Ля Коруна и зафиксировал нефтяное пятно, дрейфующее в восточном направлении со скоростью примерно 7 морских миль в день.

Экологическая катастрофа такого масштаба не осталась без внимания ведущих мировых компаний, обеспечивающих мониторинг Мирового океана со спутниковых средств. Плохая погода в районе аварии (высокий процент облачности) препятствовала получению снимков высокого разрешения в видимом диапазоне. Первое спутниковое изображение района аварии было получено с канадского радиолокатора IC3 RADARSAT 18 ноября, через несколько дней оно было опубликовано на сайте NASA Earth Observatory; через день там же было выставлено изображение района с IC3 IKONOS от 21 ноября. Однако интерпретация данных с IKONOS оказалась весьма сложной из-за большого процента рваной облачности и наличия теней от вдольбереговых клифов, частично покрывающих районы побережья в зоне нефтяного загрязнения. Все же отдельные полосы нефти на снимке с IKONOS детектировались достаточно хорошо.

Наиболее обстоятельная статья с оригинальными радиолокационными снимками с IC3 ESA по району катастрофы появилась на сайте ESA впервые 29 ноября и пополнялась в дальнейшем данными текущего мониторинга. В итоге мониторинговые работы проводились ESA в этом районе с ноября 2002 г. по апрель 2003 г. [11]. Материалы, опубликованные ESA, представляют большой интерес в методическом плане для организации космического мониторинга чрезвычайных ситуаций в море. Поэтому остановимся на этих материалах несколько подробнее.

В ноябре 2002 г. в рамках подписанных договоренностей космические агентства разных стран организовали мониторинг катастрофического разлива нефти у испанского побережья, вызванного гибелью танкера «Престиж». Для поддержки усилий по слежению за последствиями нефтяного загрязнения с 17 ноября ESA обеспечивали власти стран, территориям которых угрожало загрязнение, регулярными спутниковыми данными по району катастрофы. Данные поставлялись с IC3 ERS и Envisat властям Испании, Португалии и Франции. Первоначально данные были запрошены Европейской Комиссией, которая с 14 ноября действовала согласно Международной хартии по космосу и крупнейшим катастрофам. Изображения получают и рассылаются авторизованным пользователям, Центру информации и мониторинга Европейской Комиссии и национальным властям [11].

Оператор, находящийся 24 часа в сутки во Фраскати (ESRIN), получает входящие требования и передает информацию об авариях дежурному офицеру, представляющему поочередно каждое из агентств с недельной ротацией. Дежурный готовит архив и план использования доступных космических ресурсов. В случае с аварией танкера «Престиж» была очередь CNES готовить необходимый план по использованию IC3 для мониторинговых целей и проводить начальную интерпретацию изображений перед переда-

1. Мониторинг района катастрофы танкера «Престиж» с радиолокаторов ERS/SAR (Вертикальная поляризация) и ENVISAT/ASAR (Вертикальная поляризация, широкая полоса). Ноябрь 2002 г.—апрель 2003 г. [11].

Номер п/п	Дата (время, UTC)	Орбита	ИСЗ
1	17/11/02	3741	ENVISAT
2	20/11/02 (11:17)	39656	ERS
3	23/11/02 (10:54)	3827	ENVISAT
4	23/11/02 (11:24)	39699	ERS
5	23/11/02 (22:13)	3834	ENVISAT
6	25/11/02 ¹	3863	ENVISAT
7	26/11/02 (11:32)	39742	ERS
8	26/11/02 (11:02)	3870	ENVISAT
9	26/11/02 (22:49)	39749	ERS
10	26/11/02 (22:19)	3877	ENVISAT
11	27/11/02 (10:30)	3884	ENVISAT
12	29/11/02 (22:54)	39792	ERS
13	29/11/02 (11:06) ¹	3913	ENVISAT
14	29/11/02 (22:24)	3920	ENVISAT ¹
15	2/12/02	39836	ERS
16	2/12/02	3963	ENVISAT
17	3/12/02	39824	ERS
18	3/12/02	3970	ERS
19	6/12/02 (21:40)	4020	ENVISAT
20	6/12/02 (21:40)	39935	ERS
21	9/12/02 (10:53)	4056	ENVISAT
22	9/12/02 (11:23)	39928	ERS
23	9/12/02 (22:11)	4063	ENVISAT
24	12/12/02 (11:29)	39971	ERS
25	12/12/02 (22:47)	39978	ERS
26	16/12/02 (11:03)	40028	ERS
27	16/12/02 (19:32)	4156	ENVISAT
28	19/12/02	40071	ERS
29	19/12/02 (21:55)	4206	ENVISAT
30	22/12/02	40114	ERS
31	25/12/02 (22:07)	4292	ENVISAT
32	26/12/02	4299	ENVISAT
33	31/12/02 (22:20)	4378	ENVISAT
34	01/01/03	40257	ERS
35	03/01/03 (22:25)	4421	ENVISAT
36	04/01/03	40307_891	ERS
37	06/01/03 (22:30)	4464	ENVISAT
38	07/01/03	40343_2727	ERS
39	07/01/03	4471	ENVISAT
40	10/01/03	4521	ENVISAT
41	13/01/03	4557	ENVISAT

Номер п/п	Дата (время, UTC)	Орбита	ИСЗ
42	13/01/03	40429_2745	ERS
43	13/01/03	40436_873	ERS
44	16/01/03	40472	ERS
45	16/01/03	4600	ENVISAT
46	17/01/03	40486_2727	ERS
47	20/01/03	40536	ERS
48	23/01/03	40579_873	ERS
49	23/01/03	4707	ENVISAT
50	25/01/03	4736	ENVISAT
51	26/01/03	40615_2727	ERS
52	26/01/03	4743	ENVISAT
53	01/02/03	40701_2745	ERS
54	07/02/03	4922	ENVISAT
55	08/02/03	4929	ENVISAT
56	08/02/03	4936	ENVISAT
57	08/02/03	40801_2727	ERS
58	08/02/03	40808_873	ERS
59	11/02/03	4972	ENVISAT
60	11/02/03	40844_2727	ERS
61	11/02/03	4979	ENVISAT
62	11/02/03	40851_873	ERS
63	13/02/03	5008	ERS
64	21/02/03	40987_2727	ERS
65	01/03/03	5237	ENVISAT
66	08/03/03	41202_2727	ERS
67	08/03/03	41209_873	ERS
68	11/03/03	41252_855	ERS
69	12/03/03	41259_2727	ERS
70	12/03/03	41266_873	ERS
71	15/03/03	41302_2727	ERS
72	18/03/03	41345_2727	ERS
73	27/03/03	41481_873	ERS
74	30/03/03	41524_837	ERS
75	30/03/03	5652	ENVISAT
76	31/03/03	41538_873	ERS
77	03/04/03	5702	ENVISAT
78	03/04/03	5709	ENVISAT
79	06/04/03	5752	ENVISAT
80	07/04/03	5759	ENVISAT
81	09/04/03	5795	ENVISAT
82	09/04/03	41667_873	ERS

Примечания: 1. Узкая полоса, режим 4 AP HH/VV; изображение не получено. 2. Высокая вероятность обнаружения нефти на водной поверхности: 1; 26—28; 30—32; 34; 36—39; 47; 48; 51. 3. Неуверенное обнаружение нефтяного slicka: 15; 16; 18—21; 29; 33; 35; 40—46; 49; 50; 52—82. 4. Нефть не обнаружена: 2—9; 11—14; 17; 22; 24; 25. 5. Трудности интерпретации, ситуация штиля или сильного морского течения: 10, 23.

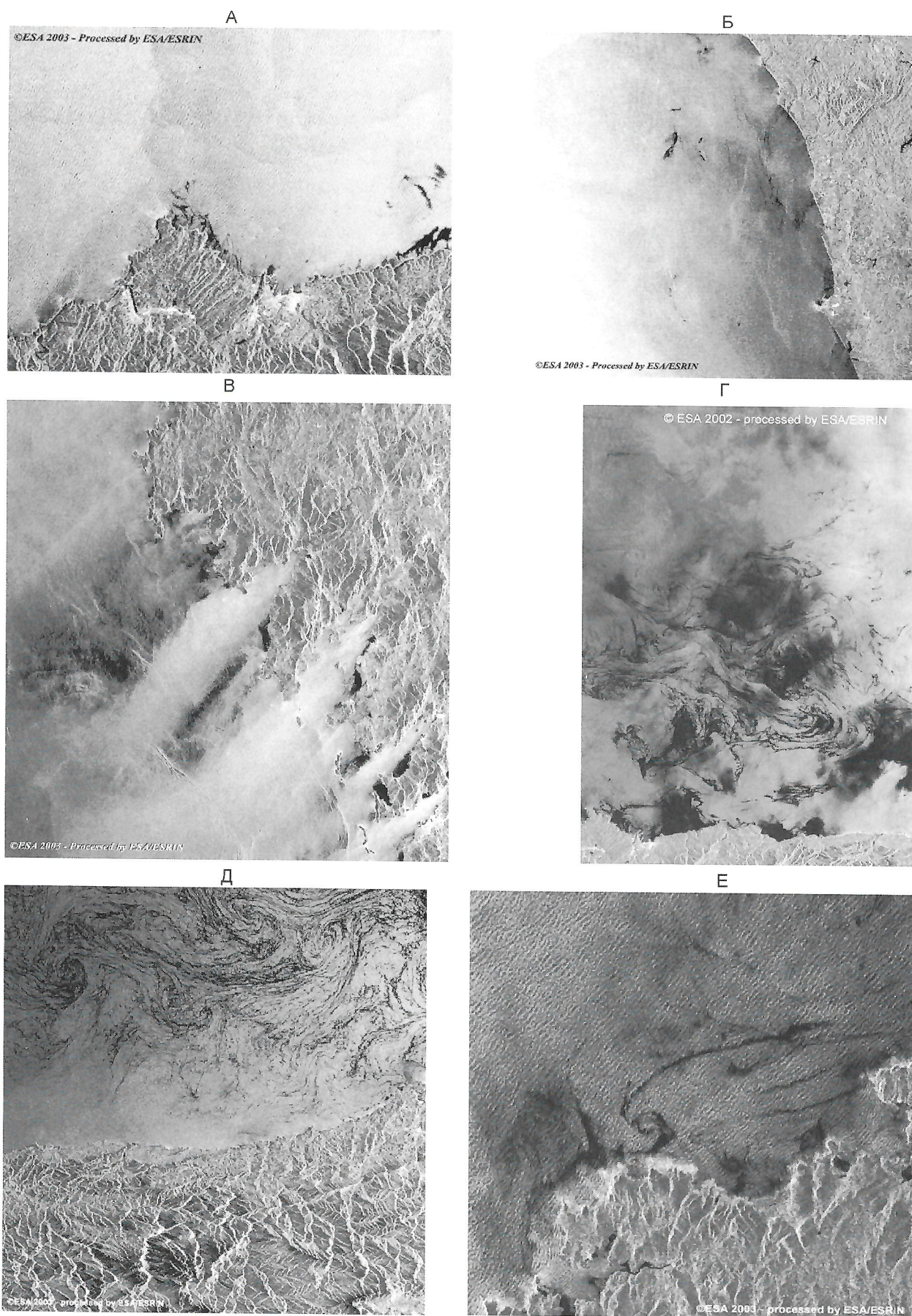


Рис. 2. Радиолокационные изображения нефтяных пятен у побережья Испании и Франции в период мониторинговых работ (ноябрь 2002—апрель 2003). ИСЗ Envisat/ASAR и ERS/SAR [11]:

А — 7 января 2003 г.; Б — 3 января 2003 г.; В — 13 января 2003 г.; Г — 19 декабря 2002 г.; Д — 15 марта 2003 г.; Е — 11 марта 2003 г.

чей их авторизованным пользователям. Было принято решение использовать для мониторинга радиолокационные изображения с SAR и ASAR. На рис. 1 (см. вставку в середине журнала) дано расположение запланированных для целей мониторинга спутниковых кадров, в табл. 1 приведены предварительные данные по сбору намеченных к использованию материалов ИСЗ Envisat и ERS с оценкой их пригодности для обнаружения нефтяного загрязнения [11].

На рис. 2 приведены примеры РЛ-изображения с ИСЗ ENVISAT и ERS, полученные по району аварии в период мониторинга [11]. Отчетливо видны нефтяные слики на поверхности моря. Анализ табл. 1 указывает, однако, на сложность проблемы мониторинга. С момента первого обнаружения слика на РЛ-снимках с двух ИСЗ (!) в течение последующих двух недель не удалось надежно идентифицировать нефтяное загрязнение из-за комплекса неблагоприятных для наблюдения метеорологических и океанографических факторов. В этот период наблюдения с самолетов и вертолетов были более результативны, чем спутниковые, как показал анализ компании ITOPF. Интересно отметить, что более приспособленный для наблюдения нефтяных сликов канадский радиолокатор ИСЗ RADARSAT в этой операции, проводимой европейскими странами, в качестве основного средства мониторинга не использовался.

Анализ как собственно обстоятельств аварии танкера, так и организационных моментов в планировании мониторинговых работ позволяет прийти к важным выводам о

том, как должны организовываться мониторинговые работы в конкретных прибрежных районах, какие должны быть предусмотрены сценарии буксировки терпящих бедствие нефтеналивных судов.

Региональная система спутникового наблюдения «Морской транспорт—Балтика». Задача создания интегрированной геоинформационной системы для региона Балтийской Европы, включающей подсистему спутникового мониторинга Балтийского моря впервые была сформулирована С.В.Викторовым в 80-х годах прошлого столетия. Предложение возникло не на пустом месте. В 1982—1988 гг. группой сотрудников ЛО ГОИН в содружестве с немецкими океанологами была проведена уникальная серия комплексных океанографических подспутниковых экспериментов (КОПЭ) [1, 9, 10]. В ходе КОПЭ по единой научной программе были использованы следующие средства наблюдения: 4 американских и отечественных спутника, 2 самолета (низколетяющий ИЛ-14 и высотный АН-30) и научное судно Института мореведения АН ГДР (Росток-Варнемюнде). В рамках этих экспериментов была отработана технология оперативного управления средствами наблюдения на основе спутниковой информации, включающая методику приема спутниковых изображений видимого и ИК-диапазонов, оперативную обработку этой информации, определение аномалий гидрофизических полей на поверхности моря, навигационный расчет для наведения судна на аномалию с учетом прогноза ее перемещения и характеристик систем связи между объектами управления.

Комплексные океанографические подспутниковые эксперименты — часть проведенного в 1980—1990 гг. экспериментального спутникового мониторинга Балтийского моря, в ходе которого были изучены динамические явления (апвеллинги, вихревые структуры различных типов, фронтальные зоны и др.) и реализованы новые подходы к исследованию элементов загрязнения моря в целом, его заливов и отдельных зон [2—5, 9].

Наши исследования базировались в основном на временных рядах регулярных изображений поверхности моря в видимом и ИК-диапазонах с пространственным разрешением не ниже 1,1 км (со спутников США типа NOAA) и на отдельных изображениях видимого диапазона с отечественных спутников пространственным разрешением не ниже 35 м. За последние несколько лет достигнут значительный прогресс в орбитальных средствах зондирования Земли в видимом, инфракрасном и радиолокационном диапазонах. Технические параметры ряда современных ИСЗ гражданского и военного назначения приведены в табл. 2; данные о военных разработках — по материалам работ [6, 7, 12]. Улучшение возможностей спутникового мониторинга требует возвращения к поставленной ранее проблеме создания системы спутникового мониторинга Балтийского моря, но уже с учетом новых технических возможностей. Кроме технической революции в спутниковых средствах мониторинга за последние годы изменилась социально-экономическая и политическая ситуация в регионе.

Таким образом, в условиях проходящего сейчас перераспределения транспортных потоков между портовыми комплексами на Балтике, ожидаемого увеличения общего объема морских перевозок и усиления внимания к безопасности морских транспортных коридоров на Балтике, назрела необходимость вернуться к рассмотрению проблемы организации спутникового мониторинга морской и прибрежной среды в этом регионе.

2. Характеристики современных ИСЗ с аппаратурой высоко-го разрешения видимого диапазона

ИСЗ/датчик	Пространственное разрешение, м	Захват на местности, км ²	Периодичность съемки, сутки
Landsat-7/TM	15 (пан) 30 (мульти-спектр)	180	3
SPOT-5/HRV	2,5 (пан) 10 (мульти-спектр)	60	1—3
IKONOS	1 (пан) 4 (мульти-спектр)	5	
Quick Bird	0,61—0,72 (пан) 2,44—2,88 (мульти-спектр)	16,5	1—3,5
Proba/CHRIS	15	18,6	
IRS/LISS-3	5 (пан) 20 (мульти-спектр)		
Terra/ASTER	15 (вид., ближний ИК) 90 (тепл. ИК)		4—16
EROS	1,8	Перенацеливание ±45 град.	

3. Характеристики современных ИСЗ с радиолокационной аппаратурой высокого разрешения

ИСЗ/датчик	Пространственное разрешение, м	Захват на местности, км	Периодичность съемки, сут.
ERS/SAR	20	100	Ежесуточно
ENVISAT/ASAR	30—150 (в зависимости от режима съемки)	56—400 (в зависимости от режима съемки)	1—3
RADARSAT	10—100	В зависимости от режима съемки	В зависимости от режима съемки
RADARSAT-2	3		
TerraSAR-X1*	1,5		11
TerraSAR-L1*	10—100		
«LACROSSE-4» (США) <i>Детальная (телескопическая) съемка</i> <i>Обзорная (полосовая маршрутная) съемка</i>	1 (до 0,6) 2—3 (покадровая) 3—10 (маршрутная)	От 2×2 до 5×5 Кадр от 6×6 до 20×20 Полоса до 100 Максимальная наклонная дальность съемки 2200	
«DISCOVERER-II» (США) <i>Детальная (телескопическая) съемка</i> <i>Широкополосный (обзорный)</i> <i>Полосовой (непрерывный)</i> СДЦ Скорость целей, км/ч 4—100	0,3 1 3 3	Кадр 4×4 60—150 кадров/ч 100 000 км ² /ч 700 000 км ² /ч 2 млн. км ² /ч	
«КОНДОР-Э» (РФ)* <i>Режим среднего разрешения</i> <i>Режим высокого разрешения</i>	5—22 1—5	2×500 (полоса обзора) 20—150 (полоса съемки) Длина одного маршрута съемки: до 4000 2×500 (полоса обзора) 10—20 (полоса съемки) Длина одного маршрута съемки: до 4000	

* Перспективные ИСЗ, планируемые к запуску

На наш взгляд, основное назначение такой системы — обеспечение безопасности мореплавания, предотвращение или сведение до минимума последствий экологических катастроф на море.

Систему спутникового наблюдения «Морской транспорт—Балтика» целесообразно ориентировать в первую очередь на работы, связанные мониторингом чрезвычайных ситуаций на море и в береговых зонах (разливы нефти, наводнения, шторма, пожары и пр.), обеспечением ледовой проводки судов, контролем хода строительства и реконструкции крупных портовых комплексов, включая инфраструктуру наземных транспортных линий на подходе к портам. Нами рассмотрены варианты построения системы с использованием действующих эксплуатационных спутниковых систем видимого диапазона типа ИСЗ Terra (Aqua), коммерческих ИСЗ типа IKONOS и Quick Bird и

специализированных микроспутников типа ИСЗ Proba (Project for On-Board Autonomy) (см. табл. 2), а также существующих и перспективных радиолокационных систем (табл. 3). Показано, что каждая из этих систем имеет свои преимущества и недостатки. Так, сканер MODIS ИСЗ Terra при низком пространственном разрешении (250 м) имеет широкую полосу захвата (все море одновременно) и обеспечивает ежесуточное покрытие объекта данными. Такой сканер может быть особенно полезен при мониторинге гидрометеорологической ситуации, оценке ледовых условий и пр. ИСЗ типа IKONOS и Quick Bird могут обеспечить контроль над строительными работами в зоне крупных портовых комплексов практически не хуже современных аэросъемочных комплексов, имеющих разрешение на уровне 0,2—0,3 м, но, разумеется, полоса захвата таких ИСЗ не позволит дать глобальные оценки ситуации.

Наконец, применение собственного микроспутника дало бы системе информационную независимость, учитывая усиливающуюся коммерциализацию в вопросе распределения спутниковой информации высокого разрешения. Безусловно, наилучший результат при создании системы спутникового наблюдения «*Морской транспорт—Балтика*» мог бы быть получен при совместном гармоничном использовании всех этих спутниковых систем.

Мы убеждены, что система должна строиться на базе международной кооперации с Европейским космическим агентством и NASA. Необходимо предусмотреть разработку единых стандартов в области проведения съемок, обработки данных и документирования результатов их анализа с целью обеспечения юридической доказательности спутниковых данных.

В качестве важного дополнительного средства наблюдения целесообразно рассмотреть возможность использования в системе авиационного носителя аппаратуры всепогодного зондирования морской поверхности. При этом следует учесть многолетний опыт организации еженедельных облетов прибрежных вод Балтики, выполнявшихся круглогодично СЗУГМС в период существования СССР.

Предлагаемая программа создания системы спутникового наблюдения «*Морской транспорт—Балтика*» могла бы вобрать в себя все лучшее из нашего опыта мониторинга Балтики, опыта наших петербургских коллег по наблюдению ледовой обстановки в Финском заливе и на крупных озерах Северо-Запада, опыт зарубежных коллег по организации спутникового мониторинга Северного моря и опыт американских специалистов по мониторингу Мексиканского залива и побережья США.

Спутниковый мониторинг портовых комплексов, прилегающих к ним береговых зон и судоходных трасс Финского залива на основе принципа «наилучших доступных технологий». В последние годы в восточной части Финского залива отмечается рост морских перевозок нефти и нефтепродуктов, обусловленный развитием существующих нефтяных терминалов, строительством новых нефтяных портов и трубопроводных систем. Если в 1987 г. через все порты Финского залива проходило менее 20 млн.т нефтепродуктов, то в 2001 г. — уже 50 млн.т, в 2003 г. — 77 млн.т [8]. По генеральной схеме развития только лишь одного из российских портов — Приморск, предусматривается возможность доведения его мощности до 110 млн.т нефти и нефтепродуктов в год, будут увеличиваться мощности и других российских портов Финского залива (рис. 3, см. вставку в середине журнала). Для повышения уровня безопасности морских перевозок в регионе российской зоны Балтики назрела необходимость в специализированном спутниковом мониторинге этого района. На состоявшемся 22—23 марта 2004 г. в Санкт-Петербурге Пятом международном форуме «День Балтийского моря» была принята резолюция, призывающая административные структуры и коммерческие организации, связанные с транспортировкой экологически опасных грузов в акватории Финского залива, принять неотложные меры, активизирующие работы по развертыванию систем экологического контроля за состоянием моря в этом районе.

Авторами данной статьи была выполнена экспертная оценка возможностей современной спутниковой аппаратуры для мониторинга портовых комплексов и судоходных трасс. Было установлено, что спутниковые изображения могут быть использованы как существенный источник

информации для решения ряда задач мониторинга портовых комплексов Финского залива, включая:

- мониторинг землепользования на территории порта и прилегающих земель;

- контроль хода строительства объектов портового хозяйства и инфраструктуры;

- отслеживание изменений береговой линии в районе порта;

- мониторинг чрезвычайных ситуаций на территории порта и прилегающих акваториях (аварийные разливы нефти, пожары);

- мониторинг температуры воды и мутности воды;

- выявление мест сброса загрязняющих веществ по шлейфам сточных вод.

В качестве примеров использования спутниковой информации видимого диапазона среднего и высокого разрешения для мониторинга порта Приморск приведены изображения со спутника Landsat и Terra (рис. 4, см. вставку в середине журнала).

Анализ текущего состояния проблемы организации мониторинговых работ в Финском заливе с использованием средств дистанционного зондирования позволил сформулировать следующие выводы:

1. В странах ЕС — участниках ХЕЛКОМ выполняются несколько пилотных проектов по аэрокосмическому мониторингу акватории Балтийского моря, включая мониторинг нефтяных пятен. Российские специалисты не участвуют в выполнении этих региональных проектов.

2. Возможности современных спутниковых систем наблюдения Земли в части информационного обеспечения задач мониторинга нефтяных пятен и ледовой проводки российскими организациями используются неудовлетворительно. В регионе ими практически не используются в оперативном режиме радиолокационные наблюдения, являющиеся наиболее информативными для решения названных задач.

3. Имеющийся научный потенциал и многолетний опыт петербургских организаций МПР России, правопреемников Росгидромета и других ведомств в части организации спутниковых наблюдений состояния морской и прибрежной природной среды используется недостаточно.

4. В настоящее время со стороны российских организаций отсутствуют круглогодичные систематические наблюдения морской и прибрежной природной среды, портовых комплексов, прилегающих к ним береговых зон и судоходных трасс Финского залива, соответствующие принципу «наилучших доступных технологий».

Таким образом, авторы полагают, что следует активизировать работу по созданию международной спутниковой системы экологического контроля за состоянием Балтийского моря, причем именно систему целесообразно строить на основе принципа «наилучших доступных технологий». В данном случае это означает, что при проектировании перспективной системы гражданского назначения надо ориентироваться на наиболее совершенные сегодняшние технологии военного сектора, например, на американские спутниковые системы типа «DISCOVERER-II», «LACROSSE-4».

В заключение следует подчеркнуть, что проведенный анализ аварии танкера «Престиж» в контексте исследования проблем охраны окружающей среды в регионе Финского залива и на акватории Балтики в целом позволил авторам прийти к следующим выводам:

1. Проблема обеспечения безопасности морских перевозок нефтепродуктов в Балтийском море требует особого внимания, причем спутниковый мониторинг портовых комплексов, прилегающих к ним береговых зон и судоходных трасс Финского залива должен быть неотъемлемой составной частью региональных программ, направленных на решение этой задачи.

2. Оперативный спутниковый мониторинг портовых комплексов, прилегающих к ним береговых зон и судоходных трасс Финского залива требует организационного оформления и надлежащего информационного обеспечения, включая спутниковые изображения сверхвысокого пространственного разрешения в видимом диапазоне и радиолокационные изображения названных объектов с высоким пространственным разрешением.

3. Спутниковый мониторинг целесообразно проводить на основе международной кооперации заинтересованных сторон — участниц Хельсинского Соглашения об охране среды Балтийского моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычкова И.А., Викторов С.В., Виноградов В.В. Дистанционное определение температуры моря. — Л.: Гидрометеониздат, 1988.
2. Бычкова И.А., Викторов С.В., Сухачева Л.Л. Аэро-космический мониторинг водных ресурсов Санкт-Петербурга и Ленинградской области // Разведка и охрана недр. 1998. № 7—8. С. 42—44.
3. Бычкова И.А., Викторов С.В., Кильдюшевский Е.И., Сухачева Л.Л. Синергетический подход к использованию аэрокосмической информации для изучения прибрежных зон // Отечественная геология. 1999. № 6. С. 40—46.
4. Викторов С.В., Сухачева Л.Л. Что отражают космические снимки Невской губы // Энергия. 1992. № 6. С. 77—79.
5. Викторов С.В., Сухачева Л.Л., Кравцова В.И. Загрязнение вод. Морские акватории. Невская губа Балтийского моря // Космические методы геоэкологии. Альбом. МГУ им. М.В. Ломоносова. — М., 1998.
6. Кучейко А.А. Новая политика США в области коммерческих средств ДЗ // Новости космонавтики. 2003. Т. 13. № 8. С. 48—49.
7. Спутники радиолокационной разведки. Приложение к Ежегоднику «Спутниковые системы связи и вещания» / Под ред. А.А. Кучейко. — М.: Радиотехника, 2001. С. 11—19.
8. VTT industrial systems. Note for the Finnish Parliament. 23.02.2004.
9. Victorov S.V. Regional Satellite Oceanography. London: Taylor and Francis. 1996.
10. Victorov S.V. Satellite Oceanography // WMO Bulletin. 1998. Vol. 47, 1. P. 40—50.
11. http://earth.esa.int/oil_slicks
12. www.infoterra-global.com

75-летие Евгения Александровича Козловского

Козловский Евгений Александрович — доктор технических наук, профессор, академик РАЕН, лауреат Ленинской и Государственной премий.

В период Великой Отечественной войны он принимал участие в партизанском движении в Белоруссии. Е.А.Козловский окончил в 1948 г. Минское артиллерийское училище, а в 1953 г. — Московский геологоразведочный институт. Его трудовая деятельность началась в геологических организациях Дальнего Востока.

При его непосредственном участии в Хабаровском крае был открыт и в рекордные сроки подготовлен к промышленному освоению Комсомольский оловорудный район. За большой вклад в решение этой проблемы в числе других геологов Евгению Александровичу было присвоено звание лауреата Ленинской премии. На этом отрезке жизненного пути активная производственная деятельность Е.А.Козловского тесно сочеталась с научными изысканиями в области технико-технологического обеспечения геологических исследований по проблемам поисков и разведки месторождений. На материалах собственных исследований он подготовил и защитил в МГРИ кандидатскую диссертацию. За время работы на производстве Евгений Александрович сформировался как профессионал-геологоразведчик, как руководитель, способный в сложных условиях успешно управлять геолого-производственным процессом.

В 1965 г. Е.А.Козловский был назначен на должность начальника Технического управления Министерства геологии РСФСР, а в 1970 г. утвержден членом коллегии Министерства. С его приходом изменилась политика Министерства в отношении подходов к осуществлению научных исследований, разрабатывается и реализуется обширная программа научно-технического прогресса при организации и проведении геологоразведочных работ, освоении новой техники и технологии. По результатам исследований в 1973 г. он успешно защищает докторскую диссертацию.

В 1973 г. Е.А.Козловский становится директором Всесоюзного института экономики минерального сырья и геологоразведочных работ (ВИЭМС). Он сделал все возможное, чтобы поднять роль института в отрасли, оживить его научную деятельность и укрепить организационные начала.

В 1974 г. Е.А.Козловский назначается заместителем министра, а в декабре 1975 г. — министром геологии СССР. На этом посту он работает 14,5 лет. Данный этап его трудовой деятельности оказался весьма плодотворным. Особенно высоко проявились гражданская позиция Евгения Александровича, государственный подход к решению проблем геологии, минерально-сырьевой базы страны, творческая разноплановость в осуществлении научных, технических, производственных и социальных проблем. С присущей ему принципиальностью и прямотой Е.А.Козловский отстаивал интересы геологии. Особое внимание уделялось анализу минерально-сырьевой базы и перспективам ее развития, геологической науке, научно-техническому прогрессу, техническому перевооружению геологоразведочного производства, социальным вопросам трудовых коллективов. Увеличились объемы и производитель-



ность геологоразведочных работ, началось широкомасштабное строительство жилья и объектов соцкультбыта для геологов и членов их семей. Применялись новые формы организации труда, активно велись в значительных объемах геологоразведочные работы за рубежом, расширялись международные контакты.

Благодаря настойчивости и разумной политике министра, Правительство оказывало постоянную поддержку отрасли, что высоко подняло престиж геологии и роль геолога в стране. Неслучайно этот период связан с крупнейшими геологическими открытиями месторождений нефти и газа в Западной и Восточной Сибири, алмазов в Архангельской области, цветных, редких, благородных металлов, уранового сырья и других полезных ископаемых на территории СССР. Данные открытия позволили укрепить и расширить минерально-сырьевую базу, которая и сегодня является одним из главных факторов, определяющих социально-экономическую обстановку в стране.

Е.А.Козловский придавал большое значение развитию геологоразведочных работ, созданию и укреплению минерально-сырьевого потенциала республик Советского Союза для развития производительных сил в этих регионах. Именно в этот период геология стала одной из важнейших отраслей народного хозяйства государства, чему, конечно, способствовали контакты Евгения Александровича с Председателем Совета министров СССР А.Н.Косыгиным и Н.А.Тихоновым.

В научной деятельности Е.А.Козловского можно выделить три главных направления: проблемы минерально-сырьевых ресурсов СССР и мира; методика и технология разведки полезных ископаемых, а также геологические проблемы окружающей среды. В его работах сформулированы принципы развития и использования минерально-сырьевой

базы. К кардинальным геологическим проблемам он относит изучение строения, состава и эволюции Земли, комплексное изучение земной коры. Он успешно осуществлял руководство Межведомственным научным советом по проблемам изучения недр Земли и сверхглубокого бурения ГКНТ. Проходка уникальной Кольской сверхглубокой скважины оказалась возможной в результате применения принципиально новой отечественной технологии, научных методов управления и организации работ, чему способствовал и личный вклад Е.А.Козловского.

На правительственном уровне утверждается новая научно-практическая система исследования недр «Космос—воздух—земля—скважина», которая должна была поднять эти исследования на новый уровень. Евгений Александрович создал научную школу, положившую начало новым подходам к системе управления, в том числе технологическими процессами и разведкой месторождений на основе геолого-экономического моделирования. Этим вопросам посвящены работы: «Кибернетические системы в разведочном бурении» (1985), «Геолого-экономическая модель: новые принципы разведки и организации работ» (1989), «Управление геологоразведочным производством», «Кибернетический аспект» (1990) и др.

Е.А.Козловский — научный руководитель международного проекта ЮНЕП/ЮНЕСКО/СССР «Охрана литосферы как компонента окружающей среды». Под его руководством подготовлена двухтомная монография «Гидрогеологические основы охраны подземных вод». В составлении монографии принимали участие ученые СССР, Франции, США, ЧССР, ВНР, Греции и Нидерландов.

Е.А.Козловский, являясь Президентом XXVII сессии Международного геологического конгресса (МГК), провел огромную работу по подготовке и проведению этого крупнейшего форума геологов мира. Организация и проведение конгресса были высоко оценены советскими и зарубежными участниками.

Е.А.Козловский — главный редактор многотомного издания «Геология СССР», «Горная энциклопедия» (5 томов), монографии «Кольская сверхглубокая», «Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых» (10 томов), «Справочник инженера по разведочному бурению» (2 тома) и др.

Значительное внимание уделяет Е.А.Козловский подготовке научных кадров. Под его руководством защищено 30 кандидатских и 5 докторских диссертаций. Он — первооткрыватель месторождений, автор ряда открытий и свыше 40 изобретений. Активно участвует в научно-практической деятельности, будучи председателем, заместителем председателя или членом ряда научных советов и Комиссий Президиума Совета министров СССР, ГКНТ, Академии наук СССР, Академии народного хозяйства СССР, ученых советов МГРИ, Санкт-Петербургского горного института, Президиума Госсовета РФ и др.

В последние годы Е.А.Козловский занимается проблемой минерально-сырьевых ресурсов и национальной безопасности. По этой тематике им опубликовано около 80 статей и книг, среди которых широко известны монографии «Минерально-сырьевые проблемы России накануне XXI века» (1999), «Россия: минерально-сырьевая политика и национальная безопасность» (2002), «Минерально-сырьевая база топливно-энергетического комплекса России» (2004).

Е.А.Козловский — авторитетнейший геолог-исследователь, избранный академиком Международной академии минеральных ресурсов. Международной академии наук информатизационных процессов и технологий, Почетным профессором ряда зарубежных университетов.

Е.А.Козловский — автор почти 500 научных работ, в т.ч. 38 монографий. За большой вклад в развитие минерально-сырьевой базы Е.А.Козловский награжден 6 орденами и 30 медалями СССР, России и зарубежных стран, удостоен Ленинской (1964) и Государственных премий (1998, 2002); ему присвоены звания «Герой социалистического труда», «Заслуженный деятель науки и техники России», «Заслуженный геолог России», а также «Почетный разведчик недр», «Почетный нефтяник», «Почетный работник газовой промышленности», «Почетный работник угольной промышленности». Награжден знаком «Шахтерская слава» трех степеней.

В настоящее время Е.А.Козловский — заведующий кафедрой Московского государственного геологоразведочного университета (МГГРУ), президент Международной акционерной геологической компании (МАГКО), генеральный директор Института геолого-экономических проблем, вице-президент РАЕН.

Е.А.Козловский полон творческих сил, как всегда, устремлен на защиту геологии и системы исследования недр, сохраняя глубокое уважение к труду разведчика недр. К нему постоянно тянутся люди, специалисты, видя в нем глубоко понимающего человека, умудренного огромным государственным и жизненным опытом. Исключительная душевность, серьезность восприятия и понимание коллег — это отличительная черта выдающегося Ученого и Человека!

Его жизненная позиция — яркий пример служения Делу и Отечеству!

*Министерство природных ресурсов России
Российское геологическое общество
Президиум РАЕН
Президиум МАМР
Ученый совет МГГРУ
Ученый совет Санкт-Петербургского горного
института (технического университета)
Редколлегия журнала*

<i>Pertsov A.V.</i> Development of aerospace methods to study natural resources in the 20 th century: results and prospects.....	3	<i>Starostin V.A., Scherbakov V.L.</i> Multifrequency radiolocation survey — a new efficient method of natural resource study	44
<i>Afanashev N.F., Viktorov S.V., Vostroknutov E.P., Pertsov A.V., Popova T.A., Smirnov M.Yu., Smirnova I.O.</i> A system of space in formation use for purposes of the Earth's natural resource study	8	<i>Popova T.A., Shubina M.A.</i> Features of landscape study using radiolocation images	51
<i>Kildyushevsky E.I., Sukhacheva L.L.</i> Geology and geoecology of coasts and water areas on the basis of remote sensing data use.	17	<i>Turchenko S.I., Vostroknutov E.P., Brusnichkina N.A.</i> Application of remote sensing methods for modeling of radioactive waste disposal sites in pre-Cambrian geological formations	57
<i>Antipov V.S.</i> Identification and evaluation of ore potential areas by areals of modern subsurface activation using polychrone thermal satellite survey.....	24	<i>Rusanova A.A., Lipiyainen K.L.</i> Monitoring of the Karelian isthmus forests using remote data on the basis of GIS technology.....	61
<i>Starostin V.A.</i> Radiolocation airborne survey in pipe-like structures identification within the Leningrad and Novgorod regions...	33	<i>Shubina M.A., Popova T.A., Surin V.G., Viktorov S.V.</i> Remote monitoring of agricultural cultures of the Leningrad region.....	65
<i>Zhuravlyov E.A.</i> Space structural position of large gold-silver deposits within Okhotsk-Chukotkian volcanogenic zone	36	<i>Shubina M.A., Kildyushevsky E.I., Sukhacheva L.L.</i> Remote sensing of algal cover of the White sea	69
<i>Pechnikovskaya L.I.</i> Space structural criteria of the Nezhdaninskoye gold deposits (Southern Verkhoyansk region).....	41	<i>Bychkova I.A., Viktorov S.V.</i> Satellite monitoring of post complexes of the Finland bay ...	73
		75 th anniversary of Eugeny Alexandrovich Kozlovsky	80